



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

VITOR DA SILVA NOVELLINO

**CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DO INTERVALO ALBIANO-  
CENOMANIANO DAS REGIÕES PROXIMAL, INTERMEDIÁRIA E DISTAL DA  
BACIA DE SANTOS, E IMPLICAÇÕES PARA MODELAGEM DE VELOCIDADES  
SÍSMICAS**

NITERÓI

2024

VITOR DA SILVA NOVELLINO

**CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DO INTERVALO ALBIANO-  
CENOMANIANO DAS REGIÕES PROXIMAL, INTERMEDIÁRIA E DISTAL DA  
BACIA DE SANTOS, E IMPLICAÇÕES PARA MODELAGEM DE VELOCIDADES  
SÍSMICAS**

Dissertação submetida ao  
Programa de Pós-Graduação em Dinâmica  
dos Oceanos e da Terra da Universidade  
Federal Fluminense como requisito  
parcial para a obtenção do título de Mestre  
na área de Geologia e Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Fernando Menezes Freire

Coorientador: Dr. Alexandre Rodrigo Maul

Niterói

2024

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

N938c Novellino, Vitor da Silva  
Características Geológicas do Intervalo Albiano-  
Cenomaniano das Regiões Proximal, Intermediária e Distal da  
Bacia de Santos, e Implicações para a Modelagem de  
Velocidades Sísmicas / Vitor da Silva Novellino. - 2024.  
197 p.: il.

Orientador: Antônio Fernando Menezes Freire.  
Coorientador: Alexandre Rodrigo Maul.  
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Instituto de Geociências, Niterói, 2024.

1. Geologia e Geofísica. 2. Modelagem de Velocidades  
Sísmicas. 3. Albiano-Cenomaniano. 4. Bacia de Santos. 5.  
Produção intelectual. I. Freire, Antônio Fernando Menezes,  
orientador. II. Maul, Alexandre Rodrigo, coorientador. III.  
Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências.  
IV. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

VITOR DA SILVA NOVELLINO

**CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DO INTERVALO ALBIANO-  
CENOMANIANO DAS REGIÕES PROXIMAL, INTERMEDIÁRIA E DISTAL DA  
BACIA DE SANTOS, E IMPLICAÇÕES PARA MODELAGEM DE VELOCIDADES  
SÍSMICAS**

Dissertação submetida ao  
Programa de Pós-Graduação em Dinâmica  
dos Oceanos e da Terra da Universidade  
Federal Fluminense como requisito  
parcial para a obtenção do título de Mestre  
na área de Geologia e Geofísica.

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_

Comissão examinadora:

---

Prof. Dr. ANTÔNIO FERNANDO MENEZES FREIRE (PPGDOT-UFF - Orientador)

---

Dr. ALEXANDRE RODRIGO MAUL (PETROBRAS – Coorientador)

---

Prof. Dr. CLÁUDIO LIMEIRA MELLO (UFRJ)

---

Dr. KLEDSON TOMASO PEREIRA DE LIMA (PETROBRAS)

---

Prof. Dr. MARCO ANTONIO CETALE SANTOS (PPGDOT-UFF)

## Dedicatória

Dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida,

minha esposa Monica e meus filhos Pietro e Oliver,

pela família, o meu grande pilar,

meus pais Pietro (*in memoriam*) e Claudia,

pelo apoio incondicional na busca dos meus sonhos

## **Agradecimentos**

À minha amada esposa, Monica, pela vida que construímos juntos há quase 27 anos, pelo companheirismo, pela sua “enorme” paciência e pelos seus “imensos” sacrifícios diários. Seu apoio, não só nesta trajetória, mas, em grande parte da minha vida, principalmente nos momentos difíceis (e não foram/são poucos), é muito mais do que eu mereça. Sua imensa força motriz mantém nossa família no caminho da felicidade.

Aos meus muito amados filhos, Pietro e Oliver, que, desde que vieram ao mundo, se configuraram no alicerce da minha vida, me proporcionando momentos inesquecíveis todos os dias. Espero que este trabalho sirva como exemplo aos dois, principalmente a Pietro, já na faculdade de psicologia, para que trilhe um brilhante caminho, próprio.

Aos meus pais, Pietro (*in memoriam*) e Cláudia, por todos os ensinamentos sobre a vida, pelo amor incondicional e ajuda, a mim, a minha esposa e aos meus filhos, pela paz e conforto nos momentos difíceis. Em especial ao meu “velho”, falecido em maio do ano passado, um pai, um amigo, um parceiro em todos os momentos da minha vida, uma pessoa, da qual não passe um dia sem que eu sinta falta e que, tenho certeza, esteve, está e sempre estará aqui, a meu lado, até o final.

À minha querida sogra Niolanda, pela ajuda que sempre proporcionou à nossa família, pelas conversas sobre assuntos variados, como política e música e, principalmente, pelo amor e carinho que sempre teve por mim.

Aos meus queridos irmãos, Marceu e Cecília por estarem a meu lado na jornada da vida. Em especial ao meu irmão, sempre com seu alto astral, pelas conversas repletas de amor, sonhos e incentivos.

Ao meu amigo de faculdade, o geofísico Dr. Alexandre Maul. Há mais ou menos 12 anos me “cutuca” para fazer o mestrado. Sem seu profissionalismo, sua praticidade, seu conhecimento e suas brilhantes ideias, esse projeto jamais teria se materializado. Sem esquecer de mencionar, sua participação como coorientador, acompanhando minuciosamente, discutindo geologia e geofísica, orientando na produção de resultados, revisando textos, incentivando a publicar e até reclamando junto, ou seja, sempre participando e incentivando intensamente.

À minha amiga geofísica María González, funcionária da empresa *AspenTech*, pela imensa ajuda com o *software SkuaGocad*. Em momentos difíceis e desesperadores em que eu me encontrava esbravejando e reclamando na frente do computador, ela sempre vinha com seu sotaque venezuelano-carioca, transmitindo uma tranquilidade e “achando” uma solução para meus problemas.

À Petrobras, pela liberação parcial nesses dois anos. É realmente uma empresa diferenciada, que investe muito na capacitação profissional de seu pessoal. Em especial aos colegas Álvaro Martini, Marcos Grochau, Marco Schinelli e Alexandre Maul, responsáveis pelas análises dos projetos de pós-graduação, em 2021, por julgarem relevante esta pesquisa de mestrado e darem o aval a sua continuidade.

Ao meu gerente imediato, Rui Sansonowski que concordou plenamente quando surgiu com a ideia de fazer o mestrado.

Aos colegas e amigos na Petrobras que, de alguma forma contribuíram para a materialização deste trabalho, seja pelas discussões técnicas sobre o tema da pesquisa e trabalhos acadêmicos, seja pela ajuda com *softwares*: Ary Candido, Georges Waisman, Gisele Camargo, José Gustavo, Lívia Falcão, Marcos Paulo, Paula Carvalho, Paulo Evelim, Wilson Ney.

À ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), pelos dados utilizados na pesquisa.

Ao meu orientador, professor Dr. Fernando Freire, pela sua orientação nesta dissertação, sempre solícito e atencioso, contribuiu para ampliar meus conhecimentos.

À Universidade Federal Fluminense (UFF), em especial aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, do Departamento de Geologia e Geofísica, pelo suporte na formação acadêmica.

Aos integrantes da banca de avaliação da Dissertação: Claudio Limeira, Kledson Tomaso e Marcos Cetale, pela participação na revisão, sugestões de melhorias e avaliação deste projeto como um todo.

## Resumo

Os reservatórios do Pré-sal da Bacia de Santos são as principais acumulações de hidrocarbonetos do Brasil. É notável a evolução das campanhas sísmicas, em termos de aquisição e de processamento, para se obter o melhor modelo geofísico possível, reduzindo riscos das decisões e minimizando dispêndios desnecessários nas etapas de E&P dos campos. A modelagem de velocidades é vital para a migração e construção de imagens sísmicas, influenciando a interpretação, as estimativas de propriedades de rochas e as previsões de profundidades. No presente, os modelos de velocidades são construídos com robustez geológica, incorporando heterogeneidades e permitindo a melhor caracterização da geologia em subsuperfície, em regiões complexas, como no caso do Pré-sal brasileiro. Em se tratando destes campos na Bacia de Santos, as principais heterogeneidades a serem consideradas são a representação dos evaporitos salinos Aptianos, dos carbonatos/siliciclásticos Albianos-Cenomanianos, e das rochas ígneas intrusivas e/ou extrusivas, sobrejacentes aos reservatórios. Apesar das velocidades da seção salina serem bem conhecidas, são escassos os estudos que apresentam o impacto da modelagem de velocidade das camadas Albianas-Cenomanianas. Neste trabalho, para o entendimento vertical e espacial das velocidades deste intervalo, foi necessária a caracterização geológica regional destas camadas, nas regiões proximal, intermediária e distal da bacia, através de análises de poços e de interpretações sísmicas. Análises estatísticas dos perfis de velocidade compressional e litologia propiciaram a compreensão destas variáveis e identificaram parâmetros a serem utilizados na modelagem de velocidades. Complementando a abordagem ora bem estabelecida para a seção salina, cenários alternativos de velocidades nas camadas Albianas-Cenomanianas incorporaram o entendimento geológico da região com os parâmetros estatísticos, permitindo o entendimento dos impactos inerentes à variação volumétrica de rochas. Diferentemente da Bacia de Campos, onde as camadas Albianas-Cenomanianas formam espessos *rafts*, que exercem grande influência na modelagem de velocidades, na porção distal da Bacia de Santos, localização dos campos do Pré-sal, este contexto é distinto. Aparentemente, a relevância destas camadas é inferior às considerações para os evaporitos salinos, entretanto, quando a espessura de sal é delgada, ou na presença de *over-hangs* de sal, sem esta consideração mais geológica aqui proposta, a atualização de velocidades por técnicas convencionais pode se tornar crítica.

Palavras-chave: Reservatórios do Pré-sal. Bacia de Santos. Albiano-Cenomaniano. Caracterização geológica. Modelagem de velocidades. Quantificação de incertezas.

## **Abstract**

The pre-salt reservoirs, in the Santos Basin are the main hydrocarbon accumulations of Brazil. It is remarkable, the seismic surveys' evolution regarding acquisition and processing, to deliver the best possible geophysical model, reducing decision risks and minimizing unnecessary expenses in the E&P stages of the fields. Velocity modeling is vital for the migration and construction of seismic images, influencing the interpretation, the rock property estimation, and the depth forecasting. Currently, velocity models are built with geological confidence, incorporating series of heterogeneities, allowing the characterization enhancement of subsurface geology, especially in complex regions, as seen in the Brazilian Pre-salt province. Concerning the fields in the Santos Basin, the main heterogeneities to be considered is the representation of the Aptian evaporitic saline section, Albian-Cenomanian carbonatic/siliciclastic section, and intrusive and/or extrusive igneous rocks above the reservoirs. Although the velocities of the saline section are well known, there are few studies that present the impact of velocity modeling related with the Albian-Cenomanian layers. In this work, to understand the vertical and spatial velocities of this interval, it was necessary to perform the regional geological characterization of the layers, in the proximal, intermediate, and distal regions of the basin, through well analysis and seismic interpretations. Statistical analysis of the compressional velocity and lithology logs provided the understanding of these variables and identified parameters to be used in the velocity modeling. Complementing the well-established approach for the saline section, alternative scenarios of velocities in the Albian-Cenomanian layers incorporated the geological comprehension of the region with the statistical parameters, allowing the understanding of the impacts inherent to the volumetric variation of rocks. Unlike the Campos Basin, where the Albian-Cenomanian layers form thick rafts, which exert a great influence on the modeling of velocities, in the distal portion of the Santos Basin, location of the Pre-Salt fields, this context is distinct. Apparently, the relevance of these layers is lower than the considerations for salt, however, when the salt thickness is thin, or in the presence of salt over-hangs, without this geological consideration proposed here, the updating of velocities by conventional techniques can become critical.

**Keywords:** Pre-salt reservoirs. Santos Basin. Albian-Cenomanian. Geological characterization. Velocity modeling. Quantification of uncertainties.

## Sumário

Dedicatória .....	I
Agradecimentos .....	II
Resumo .....	III
Abstract .....	IV
Sumário .....	V
Lista de figuras: .....	VI
Lista de tabelas: .....	VII
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	7
3 HISTÓRICO EXPLORATÓRIO .....	8
4 TRABALHOS PRETÉRITOS .....	9
5 CONTEXTO GEOLÓGICO .....	11
5.1 Evolução tectônica regional .....	11
5.2 Tectônica Salífera .....	13
5.3 Evolução estratigráfica regional .....	15
5.4 Sequências Albianas-Cenomanianas .....	21
6 MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
7 METODOLOGIA .....	31
7.1 Tratamento de Perfis .....	31
7.2 Zoneamento estratigráfico .....	32
7.3 Interpretação sísmica .....	34
7.4 Correlações entre Poços .....	35
7.5 Síntese e agrupamento das litofácies .....	36
7.6 Confeção de mapas de litofácies .....	37
7.7 Análises estatísticas de velocidade compressional e litologia .....	37
7.8 Modelagem da Vp .....	39
7.9 Quantificação das incertezas .....	42
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
8.1 Detalhamento geológico (base para modelagem geológica de Vp) .....	44
8.1.1 Zoneamento estratigráfico .....	44
8.1.2 Grupos de litofácies .....	46
8.1.3 Análise das seções estratigráficas e seções sísmicas .....	47
8.1.4 Mapas de litofácies .....	101
8.1.5 Discussão .....	113
8.2 Modelagem geológica de velocidades .....	120
8.2.1 Análises estatísticas de Vp e litologia .....	120
8.2.2 Modelagem da Vp e quantificação das incertezas .....	136
8.2.3 Relação litofácies e velocidade compressional .....	160
8.2.4 Discussão .....	162

9	CONCLUSÕES .....	167
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	170
11	ANEXOS .....	180
11.1	Anexo I.....	180
11.2	Anexo II .....	181
11.3	Anexo III.....	189
11.4	Anexo IV.....	190
11.5	Anexo V .....	193

## Lista de figuras:

<a href="#">Figura 001</a>	- Mapa de localização da Bacia de Santos e áreas adjacentes .....	7
<a href="#">Figura 002</a>	- Ilustração das cinco fases da evolução tectônica das bacias sedimentares costeiras do Brasil .....	13
<a href="#">Figura 003</a>	- Mapa regional da Bacia de Santos, com os domínios estruturais gerados devido a halocinese .....	14
<a href="#">Figura 004</a>	- Seção esquemática da Bacia de Santos com os domínios estruturais relacionados a halocinese .....	14
<a href="#">Figura 005</a>	- Carta Estratigráfica da Bacia de Santos .....	15
<a href="#">Figura 006</a>	- Mapa com as principais feições fisiográficas da margem continental brasileira .....	16
<a href="#">Figura 007</a>	- Reconstrução paleogeográfica da deposição das megassequências na Bacia de Santos .....	17
<a href="#">Figura 008</a>	- Detalhe da carta estratigráfica da Bacia de Santos, ilustrando a Seção Albiana-Cenomaniana .....	21
<a href="#">Figura 009</a>	- Modelo de plataformas carbonática em rampa com borda de Tucker & Wright (1991) .....	22
<a href="#">Figura 010</a>	- Modelos de plataformas carbonáticas com borda de Schlager (2002) .....	22
<a href="#">Figura 011</a>	- Seção <i>dip</i> estratigráfica-estrutural na Bacia de Campos .....	23
<a href="#">Figura 012</a>	- Modelos posicionais para a Formação Macaé Inferior .....	24
<a href="#">Figura 013</a>	- Mapas paleobatimétricos das sequências Albianas e Cenomanianas .....	26
<a href="#">Figura 014</a>	- Localização dos dados selecionados para a execução do projeto .....	27
<a href="#">Figura 015</a>	- Metodologia aplicada na pesquisa .....	31
<a href="#">Figura 016</a>	- Cálculo de $V_p$ .....	31
<a href="#">Figura 017</a>	- Cálculo de $I_p$ .....	32
<a href="#">Figura 018</a>	- Recorte da carta estratigráfica da Bacia de Santos, com o zoneamento adotado na pesquisa .....	33
<a href="#">Figura 019</a>	- Análise estratigráfica realizada nos poços da pesquisa .....	34
<a href="#">Figura 020</a>	- Distribuição das linhas sísmicas 2D interpretadas .....	35
<a href="#">Figura 021</a>	- Seção de correlação estratigráfica entre poços, com zoneamento adotado .....	36
<a href="#">Figura 022</a>	- Classificação de rochas carbonáticas .....	36
<a href="#">Figura 023</a>	- Exemplo de análise estatística de $V_p$ e Litologia realizada em poços .....	38
<a href="#">Figura 024</a>	- Fluxo completo de modelagem da $V_p$ .....	39
<a href="#">Figura 025</a>	- Grides geológicos criados para cada seção sísmica 2D .....	40
<a href="#">Figura 026</a>	- Mapa com a definição dos setores da bacia adotados no projeto .....	41
<a href="#">Figura 027</a>	- Fluxo de trabalho realizado na etapa de quantificação das incertezas .....	43
<a href="#">Figura 028</a>	- Esquema ilustrando a distribuição e o agrupamento das litofácies .....	46
<a href="#">Figura 029</a>	- Localização das 10 seções estratigráficas analisadas e dos poços que as compõem .....	48
<a href="#">Figura 030</a>	- Mapa do topo do embasamento econômico da Bacia de Santos .....	48
<a href="#">Figura 031</a>	- Seção estratigráfica <i>strike</i> proximal, com correlação em seus poços .....	51
<a href="#">Figura 032</a>	- Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>strike</i> proximal .....	52
<a href="#">Figura 033</a>	- Seção sísmica <i>strike</i> proximal, com poços e interpretação proposta .....	53
<a href="#">Figura 034</a>	- Seção estratigráfica <i>strike</i> intermediária sul, com correlação em seus poços .....	56
<a href="#">Figura 035</a>	- Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>strike</i> intermediária sul .....	57
<a href="#">Figura 036</a>	- Seção sísmica <i>strike</i> intermediária sul, com poços e interpretação proposta .....	58
<a href="#">Figura 037</a>	- Seção estratigráfica <i>strike</i> intermediária norte, com correlação em seus poços .....	61
<a href="#">Figura 038</a>	- Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>strike</i> intermediária norte .....	62
<a href="#">Figura 039</a>	- Seção sísmica <i>strike</i> intermediária norte, com poços e interpretação proposta .....	63
<a href="#">Figura 040</a>	- Seção estratigráfica <i>strike</i> distal sul, com correlação em seus poços .....	66
<a href="#">Figura 041</a>	- Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>strike</i> distal sul .....	67
<a href="#">Figura 042</a>	- Seção sísmica <i>strike</i> distal sul, com poços e interpretação proposta .....	68
<a href="#">Figura 043</a>	- Seção estratigráfica <i>strike</i> distal norte, com correlação em seus poços .....	71
<a href="#">Figura 044</a>	- Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>strike</i> distal norte .....	72
<a href="#">Figura 045</a>	- Seção sísmica <i>strike</i> distal norte, com poços e interpretação proposta .....	73
<a href="#">Figura 046</a>	- Seção estratigráfica <i>dip</i> extremo sul, com correlação em seus poços .....	76
<a href="#">Figura 047</a>	- Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>dip</i> extremo sul .....	77

<a href="#">Figura 048</a> - Seção sísmica <i>dip</i> extremo sul, com poços e interpretação proposta.....	78
<a href="#">Figura 049</a> - Seção estratigráfica <i>dip</i> sul, com correlação em seus poços.....	82
<a href="#">Figura 050</a> - Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>dip</i> sul.....	83
<a href="#">Figura 051</a> - Seção sísmica <i>dip</i> sul, com poços e interpretação proposta.....	84
<a href="#">Figura 052</a> - Seção estratigráfica <i>dip</i> centro, com correlação em seus poços.....	88
<a href="#">Figura 053</a> - Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>dip</i> centro.....	89
<a href="#">Figura 054</a> - Seção sísmica <i>dip</i> centro, com poços e interpretação proposta.....	90
<a href="#">Figura 055</a> - Seção estratigráfica <i>dip</i> norte, com correlação em seus poços.....	93
<a href="#">Figura 056</a> - Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>dip</i> norte.....	94
<a href="#">Figura 057</a> - Seção sísmica <i>dip</i> norte, com poços e interpretação proposta.....	95
<a href="#">Figura 058</a> - Seção estratigráfica <i>dip</i> extremo norte, com correlação em seus poços.....	98
<a href="#">Figura 059</a> - Litofácies descritas na seção estratigráfica <i>dip</i> extremo norte.....	99
<a href="#">Figura 060</a> - Seção sísmica <i>dip</i> extremo norte, com poços e interpretação proposta.....	100
<a href="#">Figura 061</a> - Mapa de litofácies da zona estratigráfica K60-20 da Bacia de Santos.....	103
<a href="#">Figura 062</a> - Mapa de litofácies da zona estratigráfica K60-50 da Bacia de Santos.....	106
<a href="#">Figura 063</a> - Mapa de litofácies da zona estratigráfica K60-80 da Bacia de Santos.....	109
<a href="#">Figura 064</a> - Mapa de litofácies da zona estratigráfica AlbSup-Ceno da Bacia de Santos.....	112
<a href="#">Figura 065</a> - Relação das litofácies descritas com o modelo deposicional adotado.....	114
<a href="#">Figura 066</a> - Distribuição dos poços utilizados nas análises estatísticas.....	120
<a href="#">Figura 067</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-20 em toda a bacia.....	121
<a href="#">Figura 068</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-50 em toda a bacia.....	122
<a href="#">Figura 069</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-80 em toda a bacia.....	123
<a href="#">Figura 070</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno em toda a bacia.....	124
<a href="#">Figura 071</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-20 na região proximal.....	125
<a href="#">Figura 072</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-50 na região proximal.....	126
<a href="#">Figura 073</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-80 na região proximal.....	127
<a href="#">Figura 074</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno na região proximal.....	128
<a href="#">Figura 075</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-20 na região intermediária.....	129
<a href="#">Figura 076</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-50 na região intermediária.....	130
<a href="#">Figura 077</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-80 na região intermediária.....	131
<a href="#">Figura 078</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno na região intermediária.....	132
<a href="#">Figura 079</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-20 na região distal.....	133
<a href="#">Figura 080</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-50 na região distal.....	134
<a href="#">Figura 081</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-80 na região distal.....	135
<a href="#">Figura 082</a> - Análise estatística para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno, na região distal.....	136
<a href="#">Figura 083</a> - Valores das médias da $V_p$ , utilizados nas modelagens dos cenários.....	137
<a href="#">Figura 084</a> - Distribuição das velocidades intervalares das rochas observados na prospecção de petróleo.....	138
<a href="#">Figura 085</a> - Modelagem de $V_p$ na seção <i>strike</i> proximal.....	139
<a href="#">Figura 086</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>strike</i> proximal.....	140
<a href="#">Figura 087</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>strike</i> proximal.....	140
<a href="#">Figura 088</a> - Modelagem de $V_p$ na seção <i>strike</i> intermediária sul.....	141
<a href="#">Figura 089</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>strike</i> intermediária sul.....	142
<a href="#">Figura 090</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>strike</i> intermediária sul.....	142
<a href="#">Figura 091</a> - Modelagem de $V_p$ na seção <i>strike</i> intermediária norte.....	143
<a href="#">Figura 092</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>strike</i> intermediária norte.....	144
<a href="#">Figura 093</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>strike</i> intermediária norte.....	144
<a href="#">Figura 094</a> - Modelagem de $V_p$ na seção <i>strike</i> distal sul.....	145
<a href="#">Figura 095</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>strike</i> distal sul.....	146
<a href="#">Figura 096</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>strike</i> distal sul.....	146

<a href="#">Figura 097</a> - Modelagem de Vp na seção <i>strike</i> distal norte.....	147
<a href="#">Figura 098</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>strike</i> distal norte.....	148
<a href="#">Figura 099</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>strike</i> distal norte.....	148
<a href="#">Figura 100</a> - Modelagem de Vp na seção <i>dip</i> extremo sul .....	149
<a href="#">Figura 101</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>dip</i> extremo sul .....	150
<a href="#">Figura 102</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>dip</i> extremo sul .....	151
<a href="#">Figura 103</a> - Modelagem de Vp na seção <i>dip</i> sul .....	152
<a href="#">Figura 104</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>dip</i> sul .....	153
<a href="#">Figura 105</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>dip</i> sul.....	153
<a href="#">Figura 106</a> - Modelagem de Vp na seção <i>dip</i> centro .....	155
<a href="#">Figura 107</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>dip</i> centro .....	155
<a href="#">Figura 108</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>dip</i> centro .....	156
<a href="#">Figura 109</a> - Modelagem de Vp na seção <i>dip</i> norte .....	157
<a href="#">Figura 110</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>dip</i> norte.....	157
<a href="#">Figura 111</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>dip</i> norte.....	158
<a href="#">Figura 112</a> - Modelagem de Vp na seção <i>dip</i> extremo norte.....	159
<a href="#">Figura 113</a> - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção <i>dip</i> extremo norte.....	160
<a href="#">Figura 114</a> - Variação % entre os cenários de modelagem na seção <i>dip</i> extremo norte.....	160
<a href="#">Figura 115</a> - Proposta de relação litofácies x Vp ao longo do Albiano-Cenomaniano.....	161

## Lista de tabelas:

<a href="#">Tabela 001</a>	- Poços escolhidos para o projeto .....	28
<a href="#">Tabela 002</a>	- Parâmetros da aquisição sísmica e do respectivo processamento.....	29
<a href="#">Tabela 003</a>	- Linhas sísmicas escolhidas para a pesquisa .....	29
<a href="#">Tabela 004</a>	- Nomenclatura, valores das escalas e cores adotadas para perfis.....	32
<a href="#">Tabela 005</a>	- Setorização da bacia adotada na pesquisa e as respectivas zonas analisadas .....	38
<a href="#">Tabela 006</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-20 em toda a bacia.....	121
<a href="#">Tabela 007</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-50 em toda a bacia.....	122
<a href="#">Tabela 008</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-80 em toda a bacia.....	123
<a href="#">Tabela 009</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona AlbSup-Ceno em toda a bacia .....	124
<a href="#">Tabela 010</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-20 na região proximal.....	125
<a href="#">Tabela 011</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-50, na região proximal.....	126
<a href="#">Tabela 012</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-80, na região proximal.....	126
<a href="#">Tabela 013</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona AlbSup-Ceno, na região proximal .....	127
<a href="#">Tabela 014</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-20, na região intermediária.....	129
<a href="#">Tabela 015</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-50, na região intermediária.....	130
<a href="#">Tabela 016</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-80, na região intermediária.....	130
<a href="#">Tabela 017</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona AlbSup-Ceno, na região intermediária .....	131
<a href="#">Tabela 018</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-20, na região distal .....	133
<a href="#">Tabela 019</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-50, na região distal .....	134
<a href="#">Tabela 020</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona K60-80, na região distal .....	134
<a href="#">Tabela 021</a>	- Parâmetros de Vp da análise estatística, para a zona AlbSup-Ceno, na região distal.....	135
<a href="#">Tabela 022</a>	- Parâmetros de Vp extraídos das análises estatísticas.....	137
<a href="#">Tabela 023</a>	- Topos das sequências e Isópacas das zonas estratigráficas estudadas .....	180
<a href="#">Tabela 024</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona AlbSup-Ceno, na região proximal .....	181
<a href="#">Tabela 025</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona AlbSup-Ceno, na região intermediária .....	181
<a href="#">Tabela 026</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona AlbSup-Ceno, na região distal.....	181
<a href="#">Tabela 027</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona AlbSup-Ceno, em toda a bacia .....	182
<a href="#">Tabela 028</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-80, na região proximal.....	183
<a href="#">Tabela 029</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-80, na região intermediária.....	183
<a href="#">Tabela 030</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-80, na região distal .....	183
<a href="#">Tabela 031</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-80, em toda a bacia.....	184
<a href="#">Tabela 032</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-50, na região proximal.....	185
<a href="#">Tabela 033</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-50, na região intermediária.....	185
<a href="#">Tabela 034</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-50, na região distal .....	185
<a href="#">Tabela 035</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-50, em toda a bacia.....	186
<a href="#">Tabela 036</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-20, na região proximal.....	187
<a href="#">Tabela 037</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-20, na região intermediária.....	187
<a href="#">Tabela 038</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-20, na região distal .....	187
<a href="#">Tabela 039</a>	- Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-20, em toda a bacia.....	188
<a href="#">Tabela 040</a>	- Símbolos e códigos das litologias utilizados nas imagens de poços.....	189
<a href="#">Tabela 041</a>	- Litofácies descritas nesta pesquisa (parte 1).....	190
<a href="#">Tabela 042</a>	- Litofácies descritas nesta pesquisa (parte 2).....	191
<a href="#">Tabela 043</a>	- Litofácies descritas nesta pesquisa (parte 3).....	192

## 1 INTRODUÇÃO

As acumulações de hidrocarbonetos da província Pré-sal na margem continental sul do Brasil representam, atualmente, os mais importantes *plays* exploratórios e de reservatórios produtores do país. Concluído em 2005, o poço descobridor 1-BRSA-329D RJS (prospecto Parati), no Bloco BM-S-10 da Bacia de Santos, foi o primeiro a atingir com sucesso a província e, apesar de não comprovar uma acumulação comercial, estimulou esforços exploratórios que culminaram com a gigantesca descoberta da acumulação do Campo de Tupi, cuja efetiva produção se iniciou em 2009 ([Maul et al., 2021b](#)).

Desde 2006 foram perfurados mais de 300 poços para acessar os reservatórios da província do Pré-sal, e outros campos de petróleo, também gigantes, foram descobertos, em geral em lâmina d'água de mais de 2 km, como Búzios, Lapa, Mero, Sapinhoá, Sépia, Sururu, Atapu e Berbigão ([Leal & Moura, 2021](#)). O relatório ANP de 2022 ([ANP, 2022](#)) enfatiza a enorme importância desta província de hidrocarbonetos. De um total de cerca de 17,7 bilhões de barris de hidrocarbonetos que correspondem as reservas provadas do Brasil, cerca de 9,6 bilhões destes correspondem a reservatórios do Pré-sal (54,4%).

Segundo dados da ANP ([ANP, 2022](#)), as operações de consórcio da Petrobras em campos como Tupi, Búzios, Mero, Sapinhoá, Sépia, Sururu, Atapu, Berbigão, dentre outros, foram responsáveis por uma produção diária média de mais de 3 MMbbl/dia, representando 74%, da produção nacional de petróleo e gás natural em setembro de 2022, que superou 4 MMbbl/dia. Na mesma tabela, é possível dividir parcelas individuais de contribuição dos campos de Tupi, com produção de 1,16 MMbbl/dia (38,6%) e de Búzios, com produção de 677,55 Mbbl/dia (22,6%), ratificando esses dois campos gigantes de hidrocarbonetos como os mais importantes da seção de reservatórios do Pré-sal brasileiro.

A fronteira contendo as mais importantes descobertas de petróleo e gás natural dos últimos anos, denominada Polígono do Pré-sal, tem área de aproximadamente 149.000 Km<sup>2</sup> em profundidades de até 7 km, no oceano, entre os estados de Santa Catarina e Espírito Santo ([PRESAL PETROLEO – PPSA](#)). Os reservatórios de hidrocarbonetos presentes na seção carbonática do Pré-sal da margem continental sul brasileira, especialmente nas bacias de Santos e de Campos, formalmente denominados Formação Barra Velha, na Bacia de Santos ([Moreira et al., 2007](#)), e Formação Macabú na Bacia de Campos ([Winter et al., 2007](#)), estão dispostos em alguns ambientes geológicos bastante estruturados e complexos. Essa complexidade foi causada não apenas por esforços tectônicos, que estruturaram todas as bacias, mas também pela

sobreposição de camadas evaporíticas salinas, denominadas Formação Ariri, na Bacia de Santos ([Moreira et al., 2007](#)) e Formação Retiro, na Bacia de Campos ([Winter et al., 2007](#)) e rochas carbonáticas albianas, denominadas como Formação Guarujá, na Bacia de Santos ([Moreira et al., 2007](#)), e Formação Quissamã, na Bacia de Campos ([Winter et al., 2007](#)).

O objeto de estudo desta pesquisa corresponde as sequências sedimentares do intervalo Albiano-Cenomaniano, da Bacia de Santos. Esta bacia está localizada na região sudeste do Brasil, abrangendo os litorais dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina e, possuindo uma área de aproximadamente 350.000 km<sup>2</sup>. Segundo [Moreira et al. \(2007\)](#), está limitada a norte com a Bacia de Campos pelo Alto de Cabo Frio e a sul com a bacia de Pelotas pelo Alto de Florianópolis e, seu arcabouço geológico é composto por três superssequências rifte, pós-rifte e drifte. A seção Albiana-Cenomaniana é caracterizada por uma plataforma carbonática instalada sobre os evaporitos salinos, refletindo uma progressiva subida do nível do mar que ultrapassou a barreira que restringia a circulação de águas no golfo Sul-Atlântico ([Chang et al., 1992](#)). Descrita em [Moreira et al. \(2007\)](#), o início da fase drifte, denominado Grupo Camburi, se inicia no Albiano Inferior como uma sequência transgressiva, que termina com a deposição de folhelhos anóxicos no Turoniano. É composto pelas formações Florianópolis (sedimentos siliciclásticos proximais), Guarujá, (carbonatos de águas rasas na plataforma continental) e Itanhaém (margas e folhelhos na região distal mais profunda) e o Membro Tombo (turbiditos). A progressiva subida global do nível do mar, acompanhado de transgressões marinhas no final do Albiano, impôs um gradual afundamento da bacia, resultando no afogamento da plataforma carbonática de alta energia.

Estes ambientes estruturais complexos impõem grandes desafios para a construção de imagens sísmicas confiáveis, que têm sido utilizadas para subsidiar as decisões de desenvolvimento destes depósitos, de forma a se obter cenários mais realistas, proporcionando melhor definição da geologia de subsuperfície. Considerando a área interna do Polígono do Pré-sal e o número de poços perfurados que atingiram os reservatórios do Pré-sal nas bacias, se observa uma densidade de poços por Km<sup>2</sup> muito pequena, em torno de 0,002 poço/Km<sup>2</sup>, ilustrando a quão ínfima é a amostragem considerada direta (poços) nestas bacias, em termos de reservatórios da província Pré-sal. Devido a esta pequena amostragem, os dados sísmicos tornam-se uma das informações mais importantes que permitem a construção de imagens de subsuperfície, tanto no que diz respeito ao posicionamento preciso da profundidade, quanto a representação das feições geológicas, importantes para o desenvolvimento e produção dos campos.

A fim de minimizar os riscos das decisões nas etapas de exploração e produção dos

campos, o modelo geofísico deve ser o mais preciso possível, isto é, conter a melhor resolução no reservatório, permitindo a melhor definição de geometrias interna e externa e das inerentes distribuições de propriedades, além de fornecer o melhor posicionamento de profundidade das feições geológicas de interesse. Visando boas imagens sísmicas provenientes do processo de migração, boas perspectivas de utilização das mesmas através de resultados de inversão sísmica e de estimativas de propriedades de rochas, ou um melhor posicionamento das estruturas de interesse em profundidade, é de suma importância garantir que o modelo de velocidades sísmicas adotado no processo de migração sísmica tenha a maior qualidade e acurácia possível, de forma a representar, fidedignamente, toda a complexidade geológica da região ([Maul, 2020](#); [Maul et al., 2021a](#)). Em outras palavras, o modelo de velocidades sísmicas afeta diretamente a construção da imagem de subsuperfície, que influenciará todas as atividades de modelagem subsequentes, como interpretação de superfícies, falhas e dobras, estimativas de atributos sísmicos e distribuição de propriedades do reservatório, como por exemplo a porosidade. O conhecimento das distribuições vertical e lateral das velocidades sísmicas nas rochas é, desta forma, extremamente importante na confecção de modelos de velocidades sísmicas, a serem incorporados tanto na etapa de processamento sísmico (migração sísmica) quanto na etapa de interpretação sísmica ([Jones & Davison, 2014](#); [Kang et al., 2019](#); [Shadrina et al., 2020](#)), e ainda na questão de incertezas volumétricas de reservatórios ([Maul et al., 2021b](#); [Pontes et al., 2019](#); [Camargo et al., 2022](#)).

Nos fluxos de processamento sísmico, a etapa de modelagem de velocidade sísmicas desempenha um papel importante na etapa de imageamento sísmico. Os modelos de velocidades sísmicas são obtidos durante as etapas de processamento sísmico, através de diferentes métodos, desde a análise de velocidades e alinhamento de *gathers*, visando remover o efeito de *moveout*, modelagens geológicas de velocidades sísmicas, atualizações de velocidades sísmicas pelo método da inversão tomográfica, *Full-Waveform Inversion* (FWI), entre outros ([Tarantola, 1984](#); [Zhang & Wang, 2009](#)). A evolução dos algoritmos de migração sísmica *Pre-Stack Depth Migration* (PSDM), especialmente em termos de capacidade computacional, tem permitido que os modelos de velocidades sísmicas utilizados sejam construídos seguindo a maior robustez geológica, explorando ao máximo o processo de atualizações pelas técnicas de inversão tomográfica ou *Full-Waveform Inversion* (FWI) ([Tarantola, 1984](#); [Zhang & Wang, 2009](#)), lidando com uma grande quantidade de heterogeneidades, buscando a geração da melhor e mais acurada imagem sísmica a ser disponibilizada aos intérpretes e permitindo, assim, a melhor caracterização da geologia em subsuperfície ([Jones & Davison, 2014](#)).

Uma prática bem difundida durante a atividade de modelagem geofísica de reservatórios tem sido a construção de modelos geológicos de velocidades sísmicas, com forte compromisso geológico, seguindo a interpretação da geologia proveniente dos dados sísmicos, previamente migrados ([Gobatto et al., 2016](#); [Maul et al., 2018a](#); [Maul et al., 2019](#), [Maul et al., 2021a](#)). Segundo as metodologias empregadas nestes trabalhos, o objetivo principal é a incorporação das complexidades estruturais, especialmente daquelas camadas ou estruturas dispostas acima das zonas de interesse. Diversos autores, como [Guo & Fagin \(2002\)](#), [Huang et al. \(2010\)](#), [Jones & Davison \(2014\)](#), [Falcão \(2017\)](#), [Maul \(2020\)](#), [Maul et al. \(2021a\)](#), [Teixeira \(2021\)](#) defendem a inclusão de elementos geométricos, que representam estruturas geológicas, como por exemplo as estratificações no sal (os termos “sal”, “sais”, “evaporito” ou “evaporitos”, nesta pesquisa, se referem aos evaporitos salinos, cuja precipitação se inicia ao final do ciclo de deposição dos carbonatos em uma sequência evaporítica ([Babel & Schreiber, 2014 in Maul, 2020](#)), na construção de modelos de velocidades sísmicas, buscando tornar os modelos de velocidades sísmicas mais realistas em termos de complexidade geológica.

Visando a melhor caracterização dos reservatórios do Pré-sal da Bacia de Santos, é muito importante que os modelos de velocidades sísmicas tenham alta precisão, não só no próprio reservatório, mas também nas camadas sobrejacentes. Parece haver um consenso de que, nas camadas mais superficiais, desde o fundo do mar até o topo do Cenomaniano, algoritmos de modelagem de velocidades sísmicas como inversão tomográfica e FWI conseguem ajustar bem estas velocidades à geologia existente. Assim, as principais heterogeneidades podem ser resumidas na correta representação das rochas carbonáticas de idade Albiana ([Camargo, 2022](#)), das heterogeneidades da seção salina ([Maul, 2020](#)) e das eventuais rochas ígneas intrusivas e/ou extrusivas presentes nas seções do pós-sal ([Oliveira et al., 2015](#)) das áreas de interesse.

Nos últimos anos, metodologias têm sido desenvolvidas para se lidar com a seção evaporítica salina, principalmente na Bacia de Santos. Já existe uma variedade de estudos que ilustram as melhorias observadas no processo de migração sísmica, especialmente no imageamento de reservatórios do Pré-sal, devido ao aumento do conhecimento e a incorporação de heterogeneidades da seção salina ([Huang et al., 2010](#); [Ji et al., 2011](#); [Jones & Davison, 2014](#); [Gobatto et al., 2016](#); [Yan et al., 2016](#); [Maul et al., 2018a](#); [Fonseca et al., 2018](#); [Maul et al., 2019](#); [Kang et al., 2019](#); [Maul et al., 2021a](#); [Maul et al., 2021b](#)). Entretanto, ainda são raros os estudos que apresentam o impacto da incorporação das rochas siliciclásticas/carbonáticas de idade Albiana-Cenomaniana. Alguns trabalhos estatísticos em dados de poços perfurados na Bacia de Santos ([Benac et al., 2021](#); [Novellino et al., 2021](#); [Novellino et al., 2023](#)) e na Bacia

de Campos ([Camargo et al., 2021](#); [Camargo, 2022](#); [Camargo et al., 2023](#)) têm sido conduzidos com a finalidade de se obter um melhor entendimento do comportamento das velocidades intervalares nas rochas siliciclásticas/carbonáticas Albianas-Cenomanianas do pós-sal. Estes se baseiam na estimativa das proporções dos tipos litológicos presentes nestas rochas, obtidos do perfil de litologia, e sua relação com as velocidades instantâneas, obtidas a partir dos perfis sônicos. Estudando *rafts* carbonáticos albianos na Bacia de Campos, [Camargo \(2022\)](#) afirma que os efeitos desses carbonatos se sobrepõem aos efeitos do sal, os quais são muito mais importantes na Bacia de Santos. A autora apresenta diversos cenários geológicos, com base no posicionamento dos reservatórios do Pré-sal, obtidos através de diferentes metodologias de modelagens de velocidade sísmicas dos *rafts* albianos elaboradas utilizando limites geológicos, além de informações da análise de velocidade de perfil de poço para preencher esses modelos. Como resultado, consegue inferir variações volumétricas de rochas, no intervalo considerado como de confiança, da ordem de 6%, na mesma ordem de grandeza do observado por [Maul et al. \(2021b\)](#) – cerca de 14%, considerando apenas a modelagem para a seção evapotítica da Bacia de Santos.

O grau de precisão dos modelos de velocidades sísmicas é diretamente proporcional ao número de poços na região, sendo maior em regiões bem amostradas e menor em regiões com baixa densidade de poços por Km<sup>2</sup>. Mesmo realizando a etapa de calibração dos dados sísmicos aos marcadores de poços perfurados, a qual quantifica diretamente essa incerteza, é difícil determinar o quanto um modelo precisa ser modificado, quando da adição de um novo dado, considerado como *hard* (novo poço perfurado). Assim, onde não existam poços disponíveis para a calibração, se torna imprescindível a criação de modelos de velocidade sísmicas que visem contornar possíveis problemas construtivos durante as etapas do processamento sísmico, permitindo lidar com as incertezas dos dados ([Camargo, 2022](#), [Camargo et al., 2023](#)).

Assim, para qualquer finalidade que seja, iluminação sísmica, migração sísmica, posicionamento e incertezas de profundidades, estudos geomecânicos etc., a análise das velocidades destas rochas siliciclásticas/carbonáticas do pós-sal deve levar em conta, uma série de fatores, dentre outros, no momento de confecção destes modelos: os diferentes litotipos depositados que compõem os carbonatos na seção a ser modelada, o posicionamento atual na bacia, o efeito do soterramento nas mesmas e o efeito da cronologia do tectonismo imposto na bacia.

Este projeto de pesquisa tem por objetivo primário a elaboração de três cenários alternativos de modelos de velocidades compressional (V<sub>p</sub>) em dados sísmicos 2D, alterando apenas a seção Albiana-Cenomaniana, a partir do modelo original do processamento, seguindo

critérios que estabeleçam um grau de confiança em cada modelo, bem como a avaliação do impacto destas modelagens na camada do Pré-sal. Para quantificar a influência de cada cenário modelado, desconsiderando o efeito da seção salina, de idade Aptiana, será estimada a variação percentual da espessura média de rocha, calculada entre a base do sal e um nível de referência (como um contato O/W arbitrário fictício, e a variação semelhante de GRV realizada em dados 3D), entre o modelo do processamento sísmico e os dos cenários alternativos.

Visando resultados robustos nas etapas de análise estatística de Vp e litologia, modelagem de Vp e quantificação das diferenças, se faz necessária uma caracterização geológica do intervalo Albiano-Cenomaniano nos setores proximal, intermediário e distal da bacia, utilizando dados de poços e dados sísmicos, envolvendo etapas, como análise de perfis, zoneamento estratigráfico, interpretação sísmica 2D de horizontes e falhas, correlação entre poços, síntese e agrupamento de litofácies, definição do modelo deposicional na bacia e confecção de mapas de litofácies para as zonas estratigráficas estudadas. Foram realizadas considerações sobre os mais diversos litotipos descritos nos poços analisados, e sua região de deposição na bacia, considerando o tempo geológico Albiano-Cenomaniano, e sua implicação para a análise sísmica de Vp. Assim, a análise estatística de Vp e litologia, visa caracterizar o comportamento da Vp em cada zona estratigráfica, em cada setor da bacia, e definir os parâmetros estatísticos utilizados na modelagem geológica de Vp. Utilizando os horizontes e falhas interpretados e, os parâmetros de médias de Vp, provenientes das análises estatísticas, a modelagem geológica de Vp tem por objetivo a geração de três cenários alternativos de Vp, baseados exclusivamente na modificação de Vp a partir do modelo do processamento sísmico, nas camadas Albiano-Cenomanianas. Por fim a quantificação do impacto da mudança de Vp nos três cenários modelados, em relação ao cenário original, do processamento propicia a discussão da relevância das camadas Albanas-Cenomanianas na modelagem de Vp na Bacia de Santos.

## 2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo [Moreira et al. \(2007\)](#) a Bacia de Santos está situada na região Sudeste da margem continental brasileira, entre os paralelos 23° e 28° Sul, possuindo uma área de, aproximadamente, 350.000 km<sup>2</sup>. A bacia abrange os litorais dos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, limitando-se ao norte com a Bacia de Campos pelo Alto de Cabo Frio e ao Sul com a Bacia de Pelotas pela Plataforma de Florianópolis (Figura 1).

A Bacia de Santos corresponde a uma bacia de margem passiva situada na margem continental Leste do Brasil, que avança cerca de 700 km além da costa até a cota batimétrica de 3.000 m, resultante da quebra do continente Gondwana, iniciada no Neocomiano e que culminou na abertura do oceano Atlântico Sul e formação das bacias marginais costeiras brasileiras ([Garcia et al., 2012](#)).

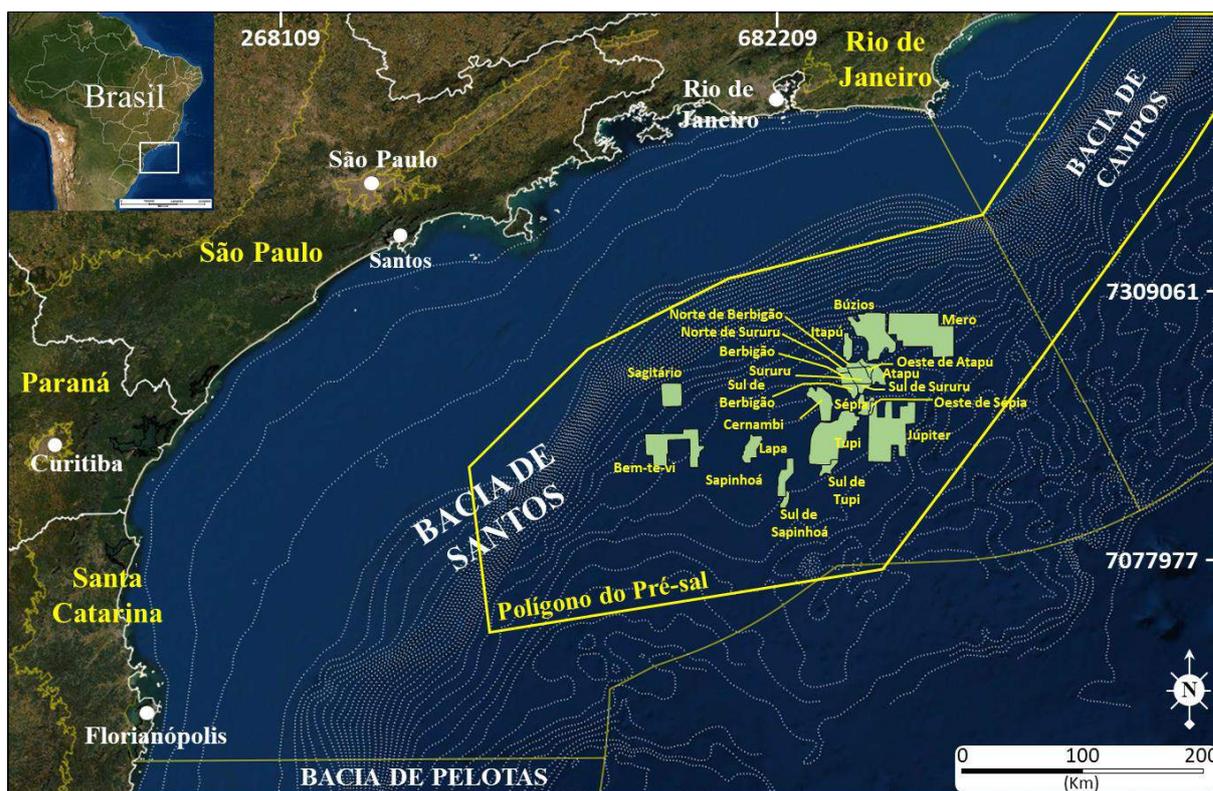


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia de Santos e áreas adjacentes contendo a posição dos principais campos de hidrocarbonetos do Pré-sal brasileiro. Fonte: o Autor.

### 3 HISTÓRICO EXPLORATÓRIO

O histórico de exploração de hidrocarbonetos na Bacia de Santos se inicia, sem sucesso, na década de 1970 ([Chang et al., 2008](#)). Na década de 1980 a empresa Pecten foi responsável pela primeira descoberta na bacia, em arenitos turbidíticos da Formação Itajaí-Açu no Campo de Merluza ([Pereira & Macedo, 1990 in Chang et al., 2008](#)).

Ainda na década de 1980, foram criadas grandes expectativas sobre o potencial petrolífero da bacia, principalmente pelas descobertas dos reservatórios carbonáticos albianos no sul da bacia, nos campos de Tubarão, Coral, Estrela do Mar e Caravela ([Chang et al., 2008](#)).

Com a criação da Lei do Petróleo, em 1997, a Bacia de Santos foi alvo de novos investimentos exploratórios, da Petrobras e de companhias nacionais e estrangeiras, na aquisição de dados geológicos e geofísicos que propiciaram novas descobertas de reservatórios de óleo, nos campos de Oliva, Atlanta, e de gás natural nos campos de Lagosta, Tambuatá, Tambaú, Mexilhão, Carapiá, Uruguá e Pirapitanga ([Chang et al., 2008](#); [Fernandez, 2017](#)).

A partir de 2006, com a perfuração do primeiro poço exploratório na seção Pré-sal da bacia (1-BRSA-329D-RJS – prospecto Parati, concluído em setembro de 2005), foi descoberta a existência de um sistema petrolífero abaixo da camada de evaporitos salinos, em águas ultra profundas, abrindo perspectivas para um novo *play* exploratório a Bacia de Santos, denominado como *play* Pré-sal ([Fernandez, 2017](#)). A partir de então, diversos campos foram descobertos, e a este conjunto de descobertas se convencionou chamar de “*Cluster* do Pré-sal”: Tupi, Júpiter, Mero, Atapu, Itapu, Berbigão, Sul de Berbigão, Búzios, Iracema, Sapinhoá, Sépia, Libra, Sul de Lula etc.).

#### 4 TRABALHOS PRETÉRITOS

O contexto geológico e a história evolutiva da Bacia de Santos vem sendo estudados por diversos autores desde a década de 1970.

[Chang \*et al.\* \(2008\)](#) apresentam um histórico de trabalhos realizados nesta bacia. O primeiro trabalho que contribuiu para o conhecimento da Bacia de Santos foi um reconhecimento regional que destacou aspectos estruturais das bacias de Pelotas e de Santos, realizado por Meister (1973). Já a primeira coluna estratigráfica da bacia, baseada em dados de poços, foi elaborada por Ojeda & Cesero (1973) e posteriormente atualizada por Ojeda & Silva (1975). Brown *et al.* (1975) realizaram as primeiras análises sismoestratigráficas para interpretação de sistemas deposicionais, com ênfase na exploração de petróleo. Trabalho semelhante também foi feito por Gonçalves *et al.* (1979), que através de dados sísmicos e de poços apresentaram uma evolução tectôno-sedimentar da plataforma Continental Sul-brasileira. Dentre outros autores que apresentaram contribuições sobre a evolução tectonoestratigráfica da Bacia de Santos e áreas adjacentes, [Chang \*et al.\* \(2008\)](#) mencionam os realizados por Macedo (1987, 1989, 1990), Pereira & Macedo (1990), Azevedo Jr. (1991), Pereira & Feijó (1994), Macedo & Gamboa (1998), Cobbold *et al.* (2001), Mesling *et al.* (2001), ANP (2003), Modica & Brush (2004). Importantes contribuições reconhecendo a halocinese como o principal mecanismo gerador das estruturas adiastróficas que modelaram a seção pós-rifte da bacia e que apresentam importante influência nas acumulações de petróleo, especialmente com relação à migração e à geração de trapas são atribuídas a autores como Pereira & Macedo (1990), Demercian & Szatmari (1993), Szatmari *et al.* (1994), Demercian (1996) e Ge *et al.* (1996).

No sentido do entendimento da evolução estrutural da bacia, [Cainelli & Mohriak \(1999\)](#) citam diversos trabalhos que agregaram conhecimento científico, como os de Asmus & Pontes (1973), Ponte *et al.* (1980), Ojeda (1982), Guardado *et al.* (1989), Chang *et al.* (1989), Mohriak *et al.* (1990a, 1990c), Chang *et al.* (1992), Matos (1992), Fernandes & Chang (1992) e Demercian *et al.* (1993).

[Mohriak \*et al.\* \(2008\)](#) mencionam outros autores com contribuições importantes acerca da história evolutiva da Bacia de Santos, como Thiede (1977), Kowsmann *et al.* (1977), McKenzie (1978), Rabinowitz & LaBrecque (1979), Assumpção *et al.* (1980), Barker *et al.* (1983), Bussel (1983), Zalán (1986), Koutsoukos & Dias-Brito (1987), Marques (1990), Koutsoukos *et al.* (1991), Dias (1993), Mohriak *et al.* (1995), Szatmari & Mohriak (1995), Gladzenko *et al.* (1997), Mohriak *et al.* (1998), Karner (2000), Milani & Thomaz Filho (2000), Heilbron *et al.* (2000), Mohriak *et al.* (2000), Cobbold *et al.* (2001), Meisling *et al.* (2001),

Mohriak (2001), Mizusaki *et al.* (2002), Mohriak (2003), Mizusaki & Thomaz Filho (2004), Modica & Brush (2004), Schmitt *et al.* (2004), Davison (2005), Mohriak & Paula (2005), Rosendahl *et al.* (2005) e Zalán & Oliveira (2005).

Entre os trabalhos referentes a incorporação das complexidades estruturais na camada evaporítica, tanto na área de interpretação quanto de processamento, destacam-se os trabalhos de [Huang \*et al.\* \(2010\)](#), [Ji \*et al.\* \(2011\)](#), [Jones & Davison \(2014\)](#), [Yan \*et al.\* \(2016\)](#), [Gobatto \*et al.\* \(2016\)](#), [Fonseca \*et al.\* \(2018\)](#), [Maul \*et al.\* \(2018a\)](#), [Maul \*et al.\* \(2019\)](#), [Maul \(2020\)](#), [Maul \*et al.\* \(2021a\)](#), [Maul \*et al.\* \(2021b\)](#), [Guo & Fagin \(2002\)](#), [Falcão \(2017\)](#), [Kang \*et al.\* \(2019\)](#) e [Teixeira \(2021\)](#).

Em relação modelagem de velocidades nas rochas carbonáticas de idade Albiana, na Bacia de Campos, os trabalhos de [Camargo \*et al.\* \(2021\)](#), [Camargo \(2022\)](#) e [Camargo \*et al.\* \(2023\)](#) possuem grande relevância. [Benac \*et al.\* \(2021\)](#), [Novellino \*et al.\* \(2021\)](#) e [Novellino \*et al.\* \(2023\)](#) contribuíram com alguns trabalhos estatísticos em dados de poços perfurados na Bacia de Santos.

## 5 CONTEXTO GEOLÓGICO

### 5.1 Evolução tectônica regional

O Brasil é um país com uma das maiores extensões de margem continental do mundo, englobando diversos segmentos com bacias sedimentares com características geológicas distintas e diferentes graus de conhecimento do potencial exploratório, conforme mencionado em [Mohriak, 2003](#) (citação de diversos autores como Asmus & Pontes, 1973; Ponte *et al.*, 1980; Ojeda, 1982; Asmus, 1984; Guardado *et al.*, 1989; Mohriak *et al.*, 1990a; Mohriak *et al.*, 1990b; Chang *et al.*, 1992; Matos, 1992).

A seção sedimentar, cuja espessura total pode chegar a 15 km, foi depositada sobre uma crosta afinada com espessura original de cerca de 35 km ([Mio \*et al.\*, 2005](#)). [Asmus & Baisch \(1983\) in Mio \*et al.\* \(2005\)](#) e [Mio & Ojeda \(1982\) in Mio \*et al.\* \(2005\)](#) atribuem um domeamento térmico ou intumescência do manto como causa do afinamento crustal. [Chang \*et al.\* \(1992\)](#) associam um intenso processo de estiramento litosférico a este domeamento térmico.

Segundo os estudos de [Cainelli & Mohriak \(1999\)](#), [Mohriak \*et al.\* \(2003\)](#) e [Mohriak \(2004\) in Mohriak \*et al.\* \(2008\)](#), a evolução tectônica da margem Atlântica Sul e a formação das bacias sedimentares costeiras, é resultado de cinco fases desenvolvidas desde o fim do Jurássico até o início do Terciário, ilustradas no esquema apresentado na Figura 2.

A fase I se estendeu do final do Jurássico ao Eocretáceo, sendo representada pela extensão litosférica que levou ao rompimento do supercontinente Gondwana, e deu origem aos continentes sulamericano e africano ([Chang \*et al.\*, 1992](#); [Mohriak \*et al.\*, 2008](#)). É caracterizada pelo desenvolvimento de depocentros locais, controlados por falhas insipientes na crosta superior.

A fase II foi representada pelo aumento na extensão litosférica e subida da astenosfera ([McKenzie, 1978 in Mohriak \*et al.\*, 2008](#)), tendo como evento principal a geração dos riftes intracontinentais. O *stress* extensional resultou na formação de espessos depósitos sinrifte, preenchidos por sedimentação aluvial, fluvial e lacustre que chegam a 12 km de espessura, na porção central da Bacia de Tucano ([Mohriak \*et al.\*, 2000 in Mohriak \*et al.\*, 2008](#)). O vulcanismo basáltico *onshore*, na Bacia do Paraná e equivalentes toleíticos *offshore*, da Bacia de Pelotas até a Bacia do Espírito Santo são interpretados como sendo precursores deste rifteamento principal. Posteriormente, um sistema de falhas normais que afetou toda a crosta continental foi responsável pela formação de hemi-grábens, localizados a Leste da Faixa Ribeira até os limites

das bacias de Santos e de Campos. Uma segunda fase de *stress* extensional se desenvolveu ao longo dos riftes intracontinentais, formando uma série de lagos alongados e profundos que se preencheram com rochas siliciclásticas e vulcânicas de idades Neocomiana e Barremiana, e evoluíram para as bacias sedimentares atuais da margem passiva Leste brasileira.

A fase III, de idade Barremiana-Aptiana representou o final da fase rifte caracterizado pela atividade de grandes falhas, que rotacionaram os blocos do rifte juntamente com sua sedimentação. Esta fase é associada à vulcanismo, reativação de grandes falhas e erosão dos blocos do rifte que resultou em uma discordância que representa a passagem da sedimentação continental lacustre para sedimentação marinha transicional de água rasa. Acima dessa discordância, no Aptiano, foi instalada uma bacia do tipo *sag* com deposição de sedimentos carbonáticos e siliciclásticos ([Henry & Brumbaugh, 1995 in Mohriak et al., 2008](#); [Henry et al., 1996 in Mohriak et al., 2008](#)). No final do Aptiano, a alta taxa de evaporação e o esporádico influxo de água do mar caracterizavam a bacia, cuja forma era de um golfo alongado com segmento maior e mais profundo na Bacia de Santos, permitindo assim a deposição da seção evaporítica de espessura diferente das outras bacias e estratificações observáveis nas seções sísmicas ([Gamboa et al., 2009](#)).

A fase IV foi caracterizada pela formação da Cordilheira Meso Oceânica Atlântica, na fase final do rifte, durante o Aptiano tardio, na região entre as margens brasileira e africana ([Chang et al., 1992](#)). Após a quebra continental no Eocretáceo, a atividade tectônica principal está relacionada a evolução do Oceano Atlântico Sul e a subsidência termal, fazendo com que as acumulações aptianas salinas se tornassem predominantemente carbonáticas durante o Albiano.

A fase V foi representada pelo aumento da batimetria no final do Albiano, levando ao afundamento do ambiente deposicional selando o fim dos carbonatos de água rasa e iniciando-se, assim, a sedimentação marinha franca. A tectônica predominante foi controlada pela halocinese que, aparentemente, formou a maioria das estruturas presentes na margem Leste brasileira ([Mohriak et al., 2008](#)). O período Cretáceo Tardio-EoTerciário é caracterizado por alguns eventos tectonomagmáticos na margem Sudeste, incluindo intrusões alcalinas ([Mizusaki & Mohriak, 1992 in Mohriak et al., 2008](#)), extrusões toleíticas na Bacia do Espírito Santo e no Complexo Vulcânico de Abrolhos ([Mohriak et al., 2003](#); [Mohriak, 2004 in Mohriak et al., 2008](#)).

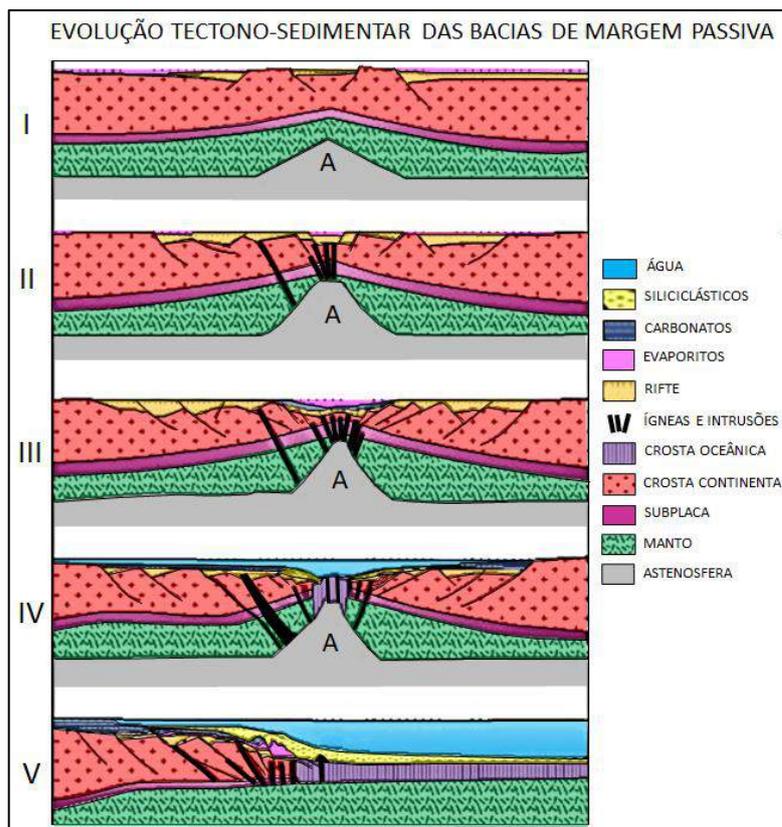


Figura 2 - Ilustração das cinco fases da evolução tectônica das bacias sedimentares de margem passiva do Brasil.  
 Fonte: [Mohriak et al. \(2008\)](#), modificado pelo Autor.

## 5.2 Tectônica Salífera

A tectônica de sal (tectônica salífera) na Bacia de Santos é resultado do fluxo massivo de sal para a bacia no final do Cretáceo ([Quirk, 2008](#)).

[Pichel & Jackson \(2020\)](#) individualizam os principais domínios desenvolvidos durante a halocinese, os quais, em decorrência da movimentação do sal, possuem estilos tectônicos e estruturas associadas característicos (Figura 3).

A zona mais interna, de extensão, onde o sal foi drenado em direção a bacia, é caracterizada por reativação de diápiros, *rollovers* de sal e falhas lístricas normais associadas à descolamento de sal. Já a zona de contração, mais externa, onde o sal se acumulava, é caracterizada por dobras nucleadas no sal, empurrões e *nappes* além de diápiros de contínua ascensão. Foi descrito ainda, um domínio translacional, que pode conter ambos os estilos de deformação, quando desenvolvido acima de um relevo de sal variável. A Figura 4 corresponde a uma seção geológica na direção *dip* que ilustra estes domínios e suas estruturas características.

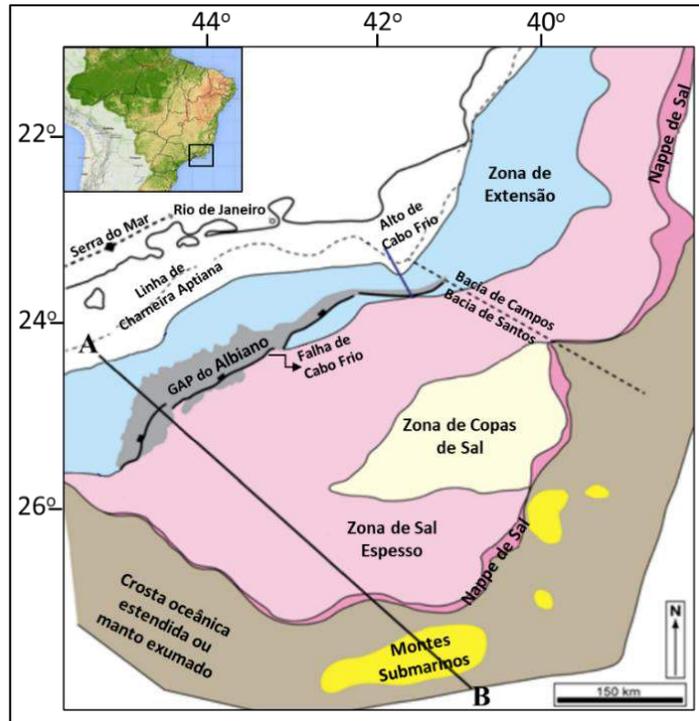


Figura 3 - Mapa regional da Bacia de Santos, ilustrando os principais domínios estruturais gerados em decorrência da halocinese, incluindo o contorno do *Gap* do Albiano. A Seção AB corresponde a localização da seção da Figura 4. Fonte: [Pichel & Jackson \(2020\)](#), modificado pelo Autor.

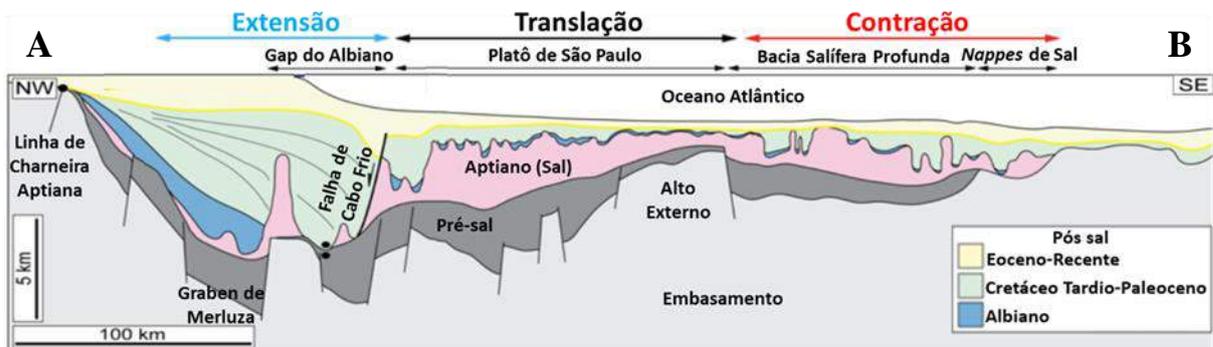


Figura 4 - Seção regional da Bacia de Santos ilustrando os principais domínios estruturais relacionados a halocinese. A Localização da seção AB está ilustrada na Figura 3. Fonte: [Pichel & Jackson \(2020\)](#), modificado pelo Autor.

Uma das maiores e talvez as mais controversas estruturas de sal, no mundo, é o *Gap* do Albiano, na Bacia de Santos ([Pichel & Jackson, 2020](#)). [Pichel & Jackson \(2020\)](#) citam trabalhos de diversos autores acerca da origem e evolução dessa estrutura, como os de Cobbold & Szatmari (1991), Demercian *et al.* 1993, Mohriak *et al.* (1995), Davison *et al.* (2012), Fiduk & Rowan (2012), Guerra & Underhill (2012), Quirk *et al.* (2012), Rowan & Ratliff (2012) e Jackson *et al.* (2015a). Está localizado no limite entre os domínios extensional e translacional, sendo caracterizado pela quase completa ausência de estratos albianos e um grande *rollover*

(com até 55 km de largura), de idade Cretáceo Tardio-Paleogeno, com mergulho no sentido da bacia, que repousa sobre uma camada fina de sal aptiano. Possui um trend SW-NE e tem até 65 km de largura em sua parte centro-sul, se estendendo subparalelo à margem brasileira por grande parte da Bacia de Santos. [Pichel & Jackson \(2020\)](#) identificam a concorrência de dois processos para a geração do *Gap* do Albiano: expulsão do sal versus extensão do sal. Suas conclusões se baseiam na análise sistemática da variação espacial do *rollover* pós-Albiano, na geometria contrastante de crescimento de estratos (espessamento, clinofórmulas sigmoidais etc.), na distribuição de falhas normais, e nos diferentes estilos de diapirismo.

### 5.3 Evolução estratigráfica regional

Os trabalhos de [Chang et al. \(1992\)](#) que descrevem o Sistema de Rifteamento Leste Brasileiro e a evolução tectono estratigráfica das bacias costeiras, e [Moreira et al. \(2007\)](#) que corresponde à carta estratigráfica mais recente da bacia (Figura 5) descrevendo as superseqüências rifte, pós-rifte e drifte, que compõem o arcabouço estratigráfico da Bacia de Santos, se constituem em importantes referências no entendimento da estratigrafia da bacia.

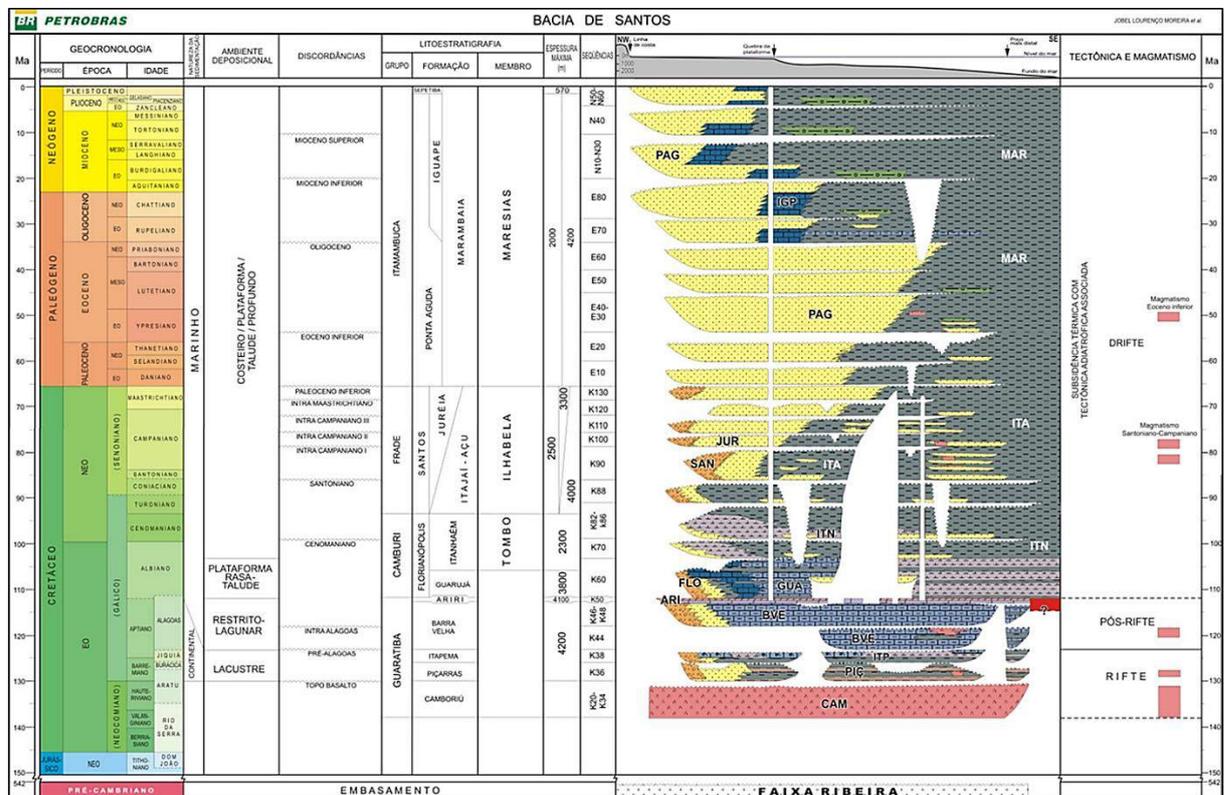


Figura 5 - Carta Estratigráfica da Bacia de Santos. Fonte: [Moreira et al. \(2007\)](#).

[Moreira et al. \(2007\)](#) descrevem o embasamento cristalino da Bacia de Santos como sendo formado por granitos e gnaisses pré-cambrianos pertencentes ao Complexo Costeiro e metassedimentos da Faixa Ribeira que afloram na região de São Paulo.

[Chang et al. \(1992\)](#) descrevem o sistema de Rifteamento do Leste Brasileiro (EBRIS – *East Brazilian Rift System*) como sendo composto de seis bacias de margem continental (do sul para o norte: Pelotas, Santos, Campos, Espírito Santo, Bahia-Sul e Sergipe-Alagoas e três bacias intracontinentais (Recôncavo, Tucano e Jatobá), que se formaram no Mesozoico, durante a separação da América do Sul da África (Figura 6). [Ponte et al. \(1978\) in Chang et al. \(1992\)](#) e [Chang et al. \(1988\)](#) defendem que a evolução estratigráfica destas bacias compreende cinco megassequências, denominadas: (I) sinrifte continental, (II) transicional evaporítica, (III) plataforma carbonática marinha rasa, observadas na Figura 7 e, (IV) transgressiva-marinha aberta e (V) ciclos regressivos de margem passiva.

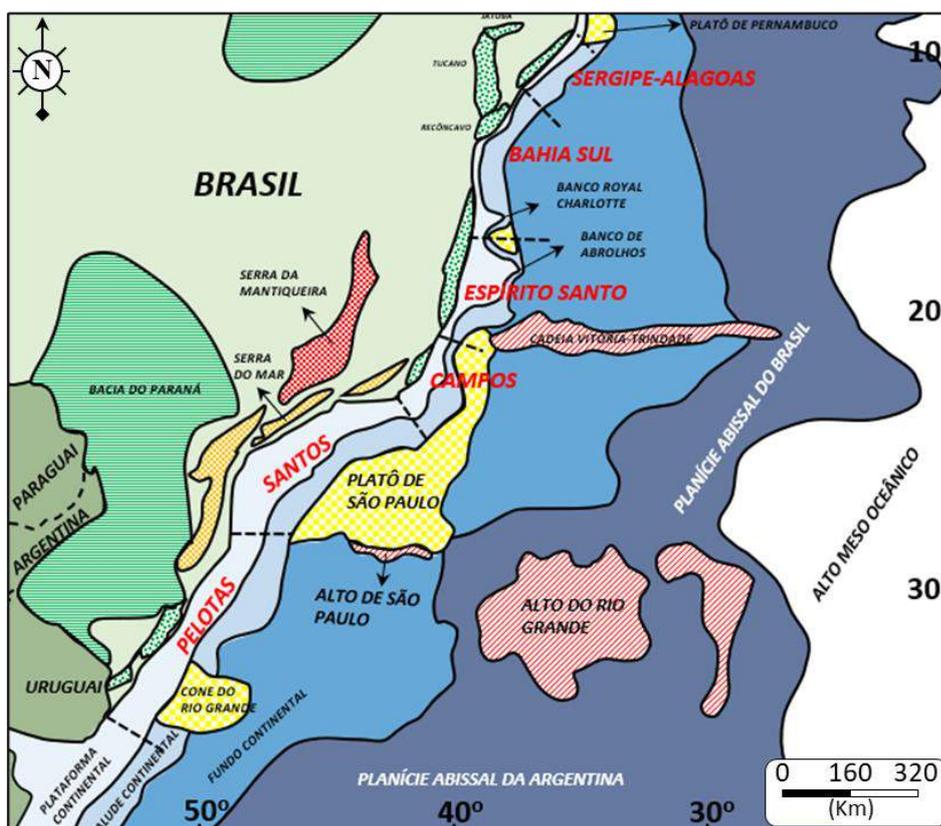


Figura 6 - Mapa com as principais feições fisiográficas da margem continental brasileira e bacias marinhas adjacentes. Fonte: [Chang et al. \(1992\)](#), modificado pelo Autor.

Durante a deposição da megassequência sinrifte continental, [Chang et al. \(1992\)](#) descrevem três fases de rifteamento: sinrifte I, no Jurássico, sinrifte II, no Neocomiano, sendo estas fases mais ativas nas bacias interiores ao continente e, sinrifte III, no Barremiano, que

apresenta taxas de subsidência muito maiores que as anteriores, indicando que o eixo do rifte migrava, do interior do continente para sua margem. Na megassequência sinrifte, grandes depocentros sedimentares foram formados a partir de falhas normais, geradas pela subsidência mecânica (Milani *et al.*, 2007) e pela reativação de falhas no embasamento do Pré-Cambriano (Mohriak, 2003 *in* Souza & Sgarbi, 2019), associados a tectônica extensional que gerou espaço para acomodação sobre blocos falhados e rotacionados.

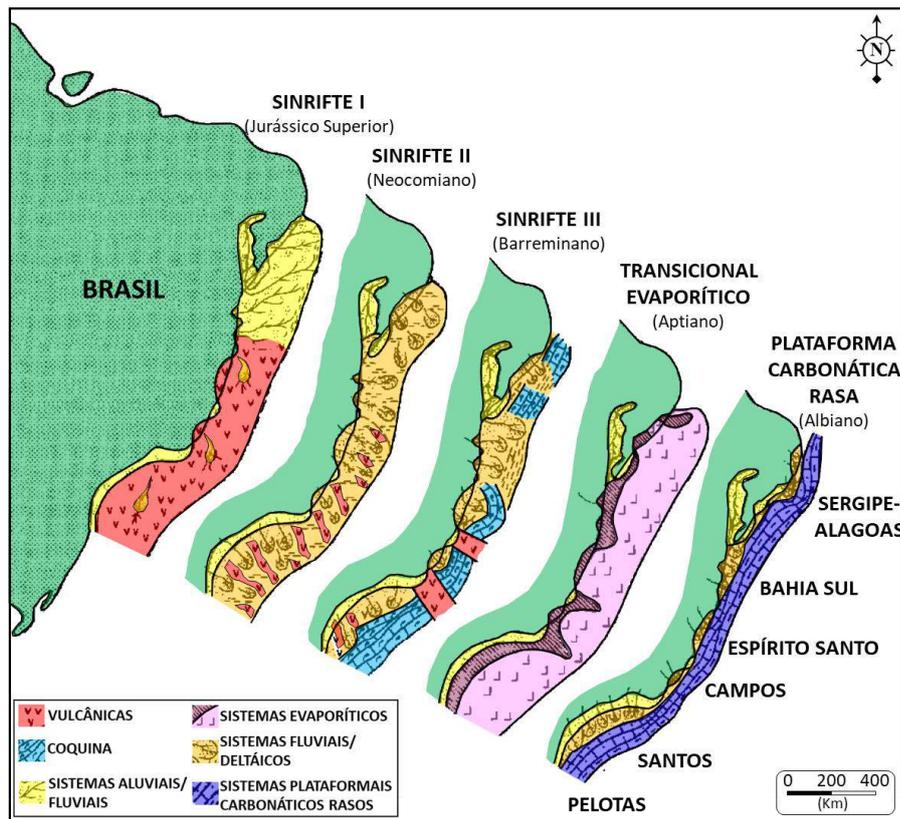


Figura 7 - Reconstrução paleogeográfica da deposição das megassequências continental (sinrifte I, II e III), transicional evaporítica e plataforma carbonática rasa. Fonte: Chang *et al.* (1992), modificado pelo Autor.

A sequência basal, sinrifte I, consiste em depósitos fluviais grosseiros, leques aluviais, raros evaporitos salinos e arenitos eólicos do Neojurássico, depositados em uma grande depressão, denominada Depressão Afro-Brasileira (Ponte *et al.*, 1971; Estrella, 1972 *in* Chang *et al.*, 1992).

Quando a aceleração da extensão crustal causou rápida subsidência dos *grábens* de Sergipe-Alagoas e de Recôncavo-Tucano, formando lagos, começou a deposição da sequência sinrifte II com sedimentação clástica finos e turbiditos intercalados a depósitos de detritos grosseiros derivados da escarpa de falha. Nas bacias de Santos e de Campos, o vulcanismo bastante ativo durante o Neocomiano, formou o embasamento da sequência sinrifte II,

composto por basaltos intercalados a rochas sedimentares clásticas e vulcanoclásticas ([Mizusaki, 1986](#); [Mizusaki et al., 1988 in Chang et al., 1992](#)). Na Bacia de Santos, o registro desse vulcanismo é representado pela Formação Camboriú, composta por basaltos toleíticos, dos primeiros derrames de lavas que se estenderam do Jurássico Superior até o Cretáceo Inferior da Formação Serra Geral, que ocorrem na Bacia do Paraná e estendem-se para as bacias marginais do Sudeste do Brasil e, que se constitui no embasamento econômico da bacia ([Mohriak, 2012 in Souza & Sgarbi, 2019](#)).

Nos sistemas de riftes continentais a sequência sinrifte III é representada pela sucessão da deposição em ambiente lacustre pela sedimentação flúvio-deltáica e de leques aluviais enquanto, nas bacias de margem continental, plataformas carbonáticas se desenvolveram em altos estruturais e sedimentos flúvio-deltáicos e lacustres se depositaram em baixos adjacentes, com destaque para seções espessas de folhelhos negros ricos em matéria orgânica. Na Bacia de Santos, a Formação Piçarras, é constituída por conglomerados e arenitos polimíticos de leques aluviais nas porções proximais, e por arenitos, siltitos e folhelhos de composição talco estevensítica na porção mais distal de ambiente lacustre.

Na maior parte das bacias rifte, tanto continentais quanto marginais, a megassequência sinrifte continental é sobreposta pelos sedimentos da megassequência transicional-evaporítica, depositados durante o andar local Alagoas (Aptiano). Uma discordância angular separa as duas megassequências e marca o limite rifte/pósrifte. Nos riftes continentais no Nordeste, os sedimentos aptianos possuem pouca espessura, mas com grande distribuição areal, compostos por rochas clásticas fluviais e depósitos aluviais de ambiente árido, associados com *sabkhas*. Nas bacias costeiras brasileiras, os sedimentos do sinrifte são sobrepostos por uma espessa seção de sedimentos clásticos e evaporíticos. Na parte basal do andar Alagoas, o registro sedimentar é predominantemente continental (sistemas de leques aluviais, lacustre e fluvial) indicando um período de intensificação tectônica com reativação das áreas fonte. Em porções bacinais, sedimentos siliciclásticos foram substituídos por carbonatos estromatolíticos e nodulares. [Moreira et al. \(2007\)](#) descrevem a estratigrafia da fase pósrifte como constituída das Formações Barra Velha e Ariri, pertencentes ao Grupo Guaratiba. A Formação Barra Velha se constitui no principal produtor de hidrocarbonetos da Bacia de Santos, em função da produção dos reservatórios da seção Pré-sal ([Carminatti et al., 2008](#)). Foi depositada do Eoaptiano ao Neoaptiano em ambiente transicional, continental e marinho raso. Sua porção basal é composta por calcários microbiais, estromatólitos e laminitos nas porções proximais e folhelhos nas porções distais. No Neoaptiano ocorreu a deposição de conglomerados e arenitos nas porções

proximais e calcários estromatolíticos e laminitos microbiais, localmente dolomitizados nas porções distais.

Durante o andar Neoalagoas ocorreu uma progressiva transgressão a partir do Sul ocasionando um estreitamento da ligação com o mar aberto a Norte da Bacia de Pelotas e, conseqüentemente, causando uma diminuição da circulação de água, criando condições euxínicas no ambiente e aumentando sua salinidade. [Kumar & Gamboa \(1979\) in Bastos & Bastos \(2017\)](#), descreveram esta barreira, a sul, como uma cadeia vulcânica de direção E-W conhecida como Dorsal de São Paulo que restringiu a circulação de água marinha dentro das bacias da margem leste tornando esse ambiente marinho bem restrito. [Bastos & Bastos \(2017\)](#), descrevem a formação de um ambiente hipersalino, formado por extensas regiões rasas e um litoral recortado, propício para o crescimento de carbonatos microbiais. Segundo [Dias et al. \(1998\) in Bastos & Bastos \(2017\)](#), o início da deposição evaporítica ocorreu em ambiente marinho raso, no final do andar Alagoas, evidenciado pelos elevados teores de bromo nas halitas e pelos valores isotópicos de estrôncio nas anidritas compatíveis com as águas marinhas do Aptiano. A associação de clima quente e árido do Aptiano com a circulação restrita de água, propiciou condições ideais para o aumento da concentração de salmoura até o nível de precipitação dos minerais salinos. [Chang et al. \(1992\)](#) aventam condições bastante restritivas, euxínicas e salinas que predominaram nesta ligação com o mar, devido a existência desta barreira de circulação de água no Alto de Walvis-São Paulo. Os mesmos autores descrevem halitas maciças com espessuras de mais de 2000 m que se acumularam nas porções de maior subsidência da proto bacia Sub Atlântica, enquanto anidritas e, em alguns casos, silvitas e taquidritas se acumularam em altos adjacentes e áreas plataformais. [Maul \(2020\)](#) descreve que o registro geológico da mineralogia dos evaporitos salinos da Formação Ariri como sendo composta predominantemente por halita e secundariamente anidrita, silvita, taquidrita e carnalita. Os evaporitos salinos na Bacia de Santos têm em média 2.500 m de espessura, variando de poucos metros a quase 3000 m ([Mohriak et al., 2012; Maul, 2020](#)). Esta seção atua como o selo efetivo para reservatórios carbonáticos do Aptiano ([Carminatti et al., 2008](#)).

Os evaporitos salinos aptianos foram sobrepostos por uma plataforma carbonática de idade albiana, refletindo a progressiva abertura do golfo Sul-Atlântico, com a ruptura da barreira que restringia a circulação de águas ([Chang et al., 1992](#)). Os litotipos que compõem a plataforma carbonática rasa consistem em calcários oolíticos, oncolíticos, peloidais e mais raramente bioclásticos, depositados em ambiente de alta energia. [Bastos & Bastos \(2017\)](#) aventam que esta plataforma carbonática era comum a todas as bacias da Margem Leste da Costa Brasileira, sendo composta por intercalações de sucessões de tratos de mar alto com

deposição de carbonatos de alta energia (*packstones/grainstones*) e tratos de sistema transgressivo com deposição de carbonatos de mais baixa energia (*wackestones/mudstones*). [Spadini et al. \(1988\)](#) propuseram o modelo de uma rampa carbonática, deformada por tectônica salífera, que controlou a distribuição de litofácies de alta energia, como os bancos oolíticos e oncolíticos. Em direção ao depocentro destas bacias, a sedimentação se torna carbonática de água profunda, com os bancos carbonáticos sendo substituídos por calcilitos, margas e folhelhos carbonáticos. O início da fase drifte, descrita por [Moreira et al. \(2007\)](#), é representado pelo Grupo Camburi, sendo uma sequência transgressiva, que termina com a deposição de folhelhos anóxicos no Turoniano. É composto pelas formações Florianópolis (sedimentos siliciclásticos proximais), Guarujá, (carbonatos de águas rasas na plataforma continental) e Itanhaém (margas e folhelhos na região distal mais profunda) e o Membro Tombo (turbiditos). Com a progressiva subida global do nível do mar, acompanhado de transgressões marinhas no final do Albiano, ocorreu um gradual afundamento da bacia, resultando no afogamento da plataforma carbonática de alta energia. A megassequência de mar aberto descrita por [Chang et al. \(1992\)](#) consiste em sedimentação de rítmica de sedimentos de baixa energia como folhelhos, margas e calcilitos. [Barros et al. \(1982\) in Chang et al. \(1992\)](#) descrevem a presença de depósitos arenosos turbidíticos canalizados ou em forma de lençol, caracterizados por intensas variações laterais de litofácies e grandes variações de espessura, depositadas em estreitas depressões controladas pela halocinese desde o Albo-Cenomaniano até o final do Cretáceo. O Grupo Frade representa uma progradação siliciclástica, ocorrida desde o Turoniano até o fim do Maastrichiano, quando os limites da plataforma continental avançam sobre o oceano por cerca de 200 km ([Garcia et al., 2012](#)). [Moreira et al. \(2007\)](#) dividem este grupo nas formações Santos, Juréia e Itajaí-Açu e o Membro Ilha Bela. A Formação Santos ocorre na parte proximal e é composta predominantemente por conglomerados continentais. A Formação Juréia é composta por sedimentos costeiros arenosos, folhelhos e siltitos, depositados em ambientes continentais até as porções mais distais da bacia. Em ambientes de plataforma distal, talude e bacia, ocorre a Formação Itajaí-Açu composta de folhelhos, siltitos, diamictitos e argilitos. Importantes escavações no talude e na plataforma, preenchidas por fluxos turbidíticos densos caracterizam o Membro Ilha Bela.

A sedimentação cenozoica das bacias de margem passiva tem um caráter geral regressivo, composta por sucessões flúvio-deltáicas coexistindo com plataformas siliciclásticas e carbonáticas e depósitos turbiditos em águas mais profundas ([Chang et al., 1992](#)). A porção sul da margem brasileira foi dominada por sistemas siliciclásticos, com padrão progradante característico, enquanto a porção norte, por sistemas carbonáticos, de padrão agradacional

vertical, refletindo na quantidade de turbiditos clásticos presentes nas duas bacias. Os depósitos marinhos do Grupo Itamambuca se assentam discordantemente sobre o Grupo Frade e são representados pelas formações Ponta Aguda, Marambaia e Iguape e o Membro Maresias, que ocorrem desde o Paleoceno até o recente ([Moreira et al., 2007](#)). Na parte proximal, está a Formação Ponta Aguda, com depósitos de arenitos de leques aluviais, sistemas fluviais e costeiros. Nas porções distais encontra-se a Formação Marambaia, representada por siltitos folhelhos, diamictitos e margas. O Membro Maresias é constituído por arenitos turbidíticos depositados em expressivos cânions que cortam a Formação Marambaia, nas regiões batiais. Calcarenitos e calcirruditos da Formação Iguape que ocorrem próximos à quebra de plataforma depositaram-se no Oligoceno Inferior.

#### 5.4 Sequências Albianas-Cenomanianas

A história evolutiva das sequências deposicionais Albiana e Cenomaniana é similar nas bacias de Campos e de Santos, com sutis diferenças (aporte de siliciclásticos, paleobatimetria, espessura das sequências, halocinese), por esse motivo, serão utilizados trabalhos elaborados nas duas bacias para este detalhamento estratigráfico. A Figura 8 representa um corte da carta estratigráfica da Bacia de Santos, referente as idades Albiano e Cenomaniano ([Moreira et al., 2007](#)).

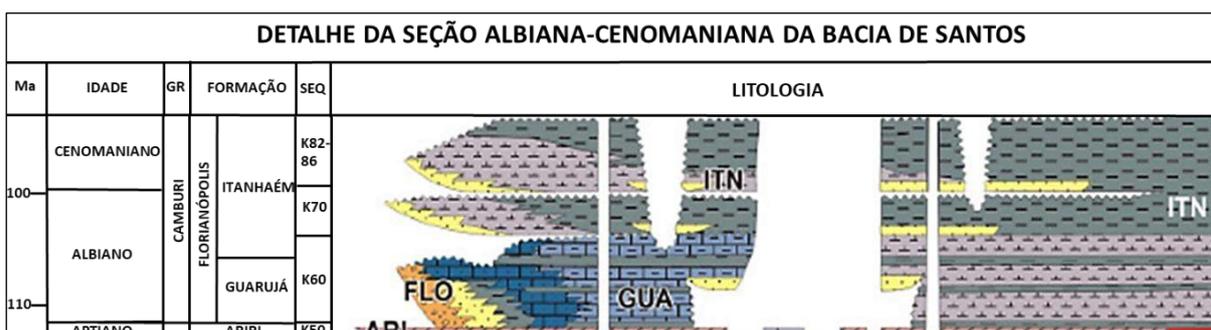


Figura 8 - Detalhe da carta estratigráfica da Bacia de Santos, ilustrando a Seção Albiana-Cenomaniana. Fonte: [Moreira et al. \(2007\)](#), modificado pelo Autor.

[Spadini et al. \(1988\)](#) caracterizam a história deposicional da (então) chamada Formação Macaé (EoAlbiano-EoTuroniano), na Bacia de Campos, levando ao entendimento do contexto inicial da formação do Atlântico Sul, uma vez que os carbonatos Albianos contém os primeiros registros do Oceano Atlântico Sul. Neste artigo são citados importantes trabalhos anteriores, principalmente estudos bioestratigráficos e paleoecológicos, como os de: Schaller (1973),

Tessari & Tibana (1975), Gomide (1976), Uesugui (1976), Carrozzi *et al.* (1977), Falkenhein (1981), Franke (1981), Baumgarten *et al.* (1982), Beltrami (1982), Dias-Brito (1982), Gomide (1982), Guardado *et al.* (1983), Spadini & Palmer (1983), Baumgarten *et al.* (1984), Palmer (1984), Scuta (1984), Dias-Brito (1985a), Moura & Praça (1985), Shimabukuro *et al.* (1985), Richter (1985, 1987), Shimabukuro (1988), Azevedo *et al.* (1987), Esteves *et al.* (1987), Franz (1987), Antunes (1988) e Moura (1988).

[Tucker & Wright \(1991\)](#) propuseram um modelo deposicional para plataformas em rampa, com bordas, apresentando ambientes e litofácies associadas (Figura 9).

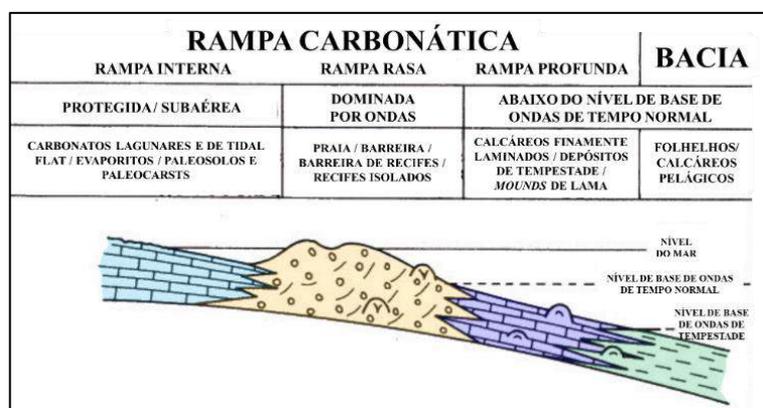


Figura 9 - Modelo de plataformas carbonática em rampa com borda e, ambientes e litofácies associados. Fonte: [Tucker & Wright \(1991\)](#), modificado pelo Autor.

[Schlager \(2002\)](#) ilustra a geometria deposicional de uma plataforma carbonática em região tropical, na qual tanto a morfologia, quanto a espessura do substrato carbonático variam de acordo com a taxa de crescimento. Este autor propõe que a atividade carbonática em regiões tropicais gera plataformas com bordas, seja de recifes, seja de bancos carbonáticos, precocemente litificados e empilhados (Figura 10).

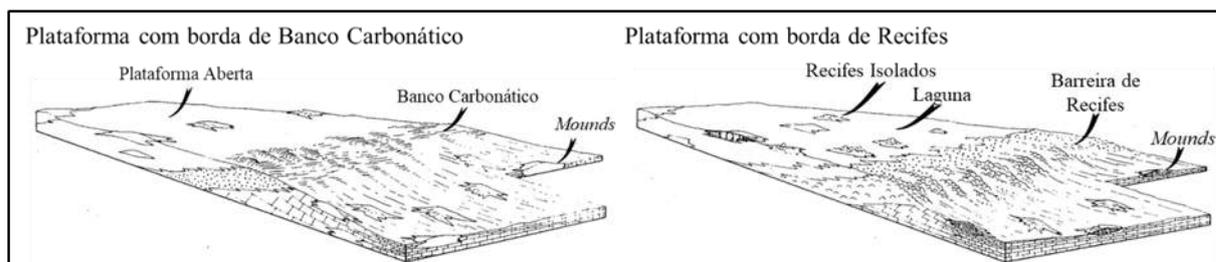


Figura 10 - Modelos de plataformas carbonáticas com borda (a) de bancos carbonáticos e (b) de recife. Fonte: [Schlager \(2002\)](#), modificado pelo Autor.

A partir do estudo de dados bioestratigráficos, paleoecológicos, sedimentológicos,

extraídos de mais de 300 poços perfurados na Bacia de Campos, [Guardado et al. \(1989\)](#) e [Spadini et al. \(1988\)](#) definiram a, então denominada, Formação Macaé. Esta unidade corresponde a deposição durante a fase pré-oceânica, que repousa sobre os evaporitos salinos da Formação Lagoa Feia (denominação da época), desde o EoAlbiano ao EoTuroniano, em resposta a mudança nas condições ambientais, em um mar epicontinental com condições restritivas, quente e hipersalino, sob clima quente e seco. Os autores ainda subdividem a Formação Macaé em Macaé Inferior, depositada do EoAlbiano ao MesoAlbiano, caracterizada por carbonatos depositados em ambiente nerítico raso e, Macaé Superior, depositada do NeoAlbiano ao EoTuroniano, caracterizada por calcilutitos, margas e folhelhos (Figura 11).

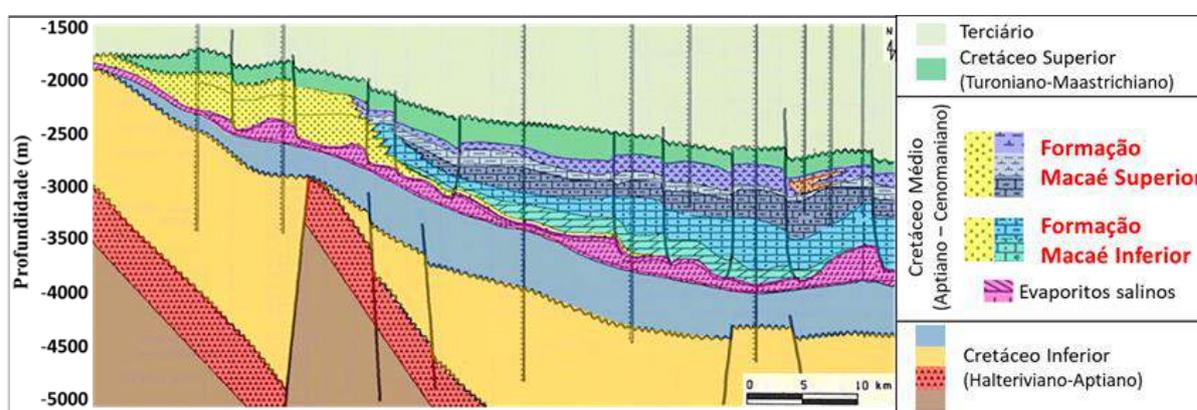


Figura 11 - Seção *dip* estratigráfica-estrutural na Bacia de Campos, enfatizando as sequências Albianas e Cenomaniana. Fonte: [Spadini et al. \(1988\)](#), modificado pelo Autor.

A seção basal da Formação Macaé Inferior, depositada em rampa carbonática, em ambiente nerítico raso é constituída por 3 sistemas principais identificados, da base para o topo: planície de maré (*mudstones* com laminações algais, *mudcracks* e *teepees*), lagunar (*mudstones* peloidais bioturbados) e nerítico raso (*mudstones* peloidais e *dolograinstones* bioturbados intercalados a margas e folhelhos). Relacionados a altos estruturais pretéritos ocorrem *grainstones/packstones* oolíticos e peloidais associados a alta energia. A seção superior da Formação Macaé Inferior, depositada em rampa carbonática, compreende 3 sistemas principais: bancos de alta energia, representados por *grainstones* oolíticos, oncolíticos e peloidais, associados a altos estruturais, ambiente plataformal, correspondente a área proximal (topo de rampa ou plataforma, áreas rasas adjacentes aos bancos e áreas plataformais profundas), caracterizado por deposição de calcários de granulometria fina ([Wilson, 1975 in Spadini et al., 1988](#)) e áreas basinais profundas, correspondente a áreas variando de dezenas a centenas de metros de profundidade, caracterizadas pela deposição de calcários finos intercalados a margas

e folhelhos.

A Formação Macaé Superior se depositou em resposta à subida progressiva do nível do mar durante o Albiano Superior e, durante o Cenomaniano, em condições batiais (200-300 m), quando a bacia experimentou um balanço de água positivo (evaporação menor que precipitação) e sob condições climáticas quentes e úmidas. O sistema Macaé Superior foi dividido em três intervalos: basal, intermediário e superior. Constituído por densos *mudstones* laminados, o intervalo basal se depositou devido ao aumento da interação de águas entre o Atlântico Norte e Sul, no Albiano Superior, propiciado, pela subida do nível do mar que tornou o sistema marinho menos salino, favorecendo a sedimentação pelágica. Ao final do Albiano, a alternância climática entre quente-seco e quente-úmido, levou a sedimentação da unidade intermediária, caracterizada por intercalações rítmicas de *mudstones* e margas. O intervalo superior, de idade NeoCenomaniano-EoTuroniano, foi depositado em condições batiais superiores (200-300 m), quando a bacia experimentava um balanço de água positivo (evaporação menor que precipitação) e sob condições climáticas quentes e úmidas. É caracterizado por margas, com folhelhos e turbiditos arenosos subordinados, depositados em resposta a drástica mudança climática que ocorreu no Cenomaniano, causando o final da sedimentação carbonática no Cretáceo.

Lateralmente para Oeste, em direção a costa, toda a seção Albiana-Cenomaniana grada para sedimentos siliciclásticos de mesma idade, principalmente na porção Norte da bacia.

A Figura 12 ilustra os modelos deposicionais propostos por [Spadini et al. \(1988\)](#) para a sedimentação do intervalo Albiano-Cenomaniano.

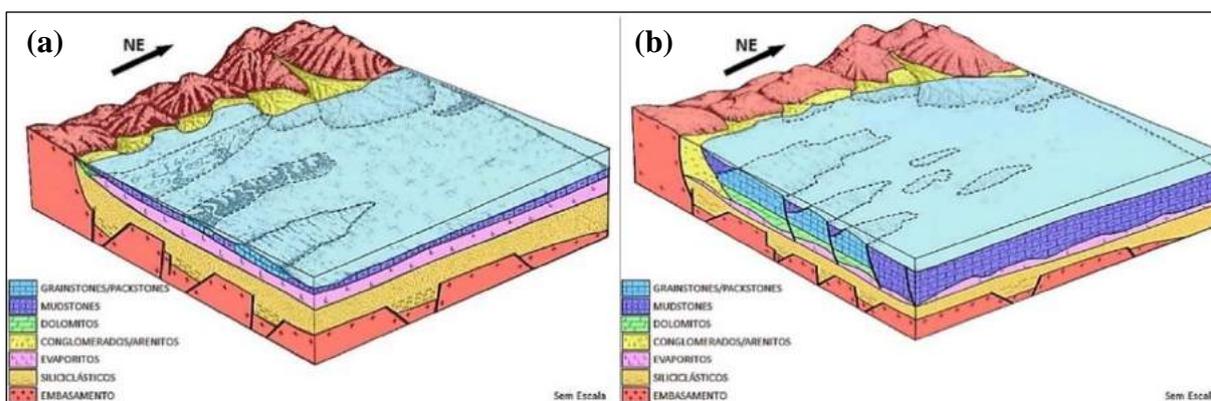


Figura 12 - Modelos deposicionais para a Formação Macaé Inferior: (a) seção basal; (b) seção superior. Fonte: [Guardado & Spadini \(1987\) in Spadini et al. \(1988\)](#), modificado pelo Autor.

[Viviers & Azevedo \(1988\)](#), apresentaram a evolução paleoambiental da parte sudeste da

margem continental brasileira, na forma de mapas que indicam grandes mudanças (de terceira ordem estratigráfica) nos ambientes deposicionais nas bacias de Campos e de Santos, do Albiano até o Maastrichiano, a partir da integração de resultados obtidos por diversos autores, como Ojeda & Cesero (1973), Ojeda & Aranha (1980), Koutsoukos (1984, 1987), Viviers (1986, 1987), Viviers *et al.* (1986), Dias-Brito & Azevedo (1986), Azevedo *et al.* (1987a) e Richter (1987). Os autores descrevem cinco sequências, depositadas ao longo de 40 Ma, durante uma fase de subida relativa do nível do mar, com eventuais quedas, posterior a deposição dos evaporitos salinos, denominadas Eo-MesoAlbiana, NeoAlbiana, Cenomaniana-Mesoturoniana, Neoturoniana-EoCampaniana e NeoCampaniana-Maastrichiana. As três primeiras sequências são correlatas às sequências de [Spadini \*et al.\* \(1988\)](#) e [Moreira \*et al.\* \(2007\)](#): Eo-MesoAlbiana (Macaé Inferior e K60, respectivamente), NeoAlbiana (base da Macaé Superior e K70, respectivamente), Cenomaniana-Mesoturoniana (topo da Macaé Superior e K82-86, respectivamente).

Os mapas paleobatimétricos observados na Figura 13 representam a reconstrução da paleogeografia da região, com inferência das zonas marinhas, ao final de cada sequência deposicional de segunda ordem.

[Viviers & Azevedo \(1988\)](#) descrevem uma distribuição regular de ambiente nerítico durante o Eo-MesoAlbiano (Figura 13a), associado a uma plataforma carbonática em rampa, com baixo gradiente, representada por uma espessa camada de carbonatos formados sob condições ambientais de mar raso, neríticas, de águas quentes, oxigenadas e hipersalinas, que recobriu os evaporitos salinos. Lateralmente, em direção a costa, ocorre sedimentação proximal em ambientes costeiros, lagunares e deltáicos. A contínua subida do nível do mar durante a deposição das sequências NeoAlbiana (Figura 13b), e Cenomaniana-Mesoturoniana (Figura 13c), implicou, ainda mais, na migração das linhas de batimetria no sentido Oeste, submetendo a bacia, a condições de deposição de águas profundas. Condições deposicionais mais rasas, plataformais são observadas apenas na borda da bacia, na porção centro-sul da bacia. A seção NeoAlbiana é representada por calcilutitos que gradam para margas e calcilutitos intercalados e, lateralmente, em direção a costa, conglomerados e arenitos transicionais e costeiros. Já a sequência Cenomaniana-Mesoturoniana é composta por sedimentação siliciclástica de margas e folhelhos, com pouca ocorrência de arenitos e conglomerados, depositadas em uma bacia com baixo gradiente, entre profundidades de 100 a 300 m.

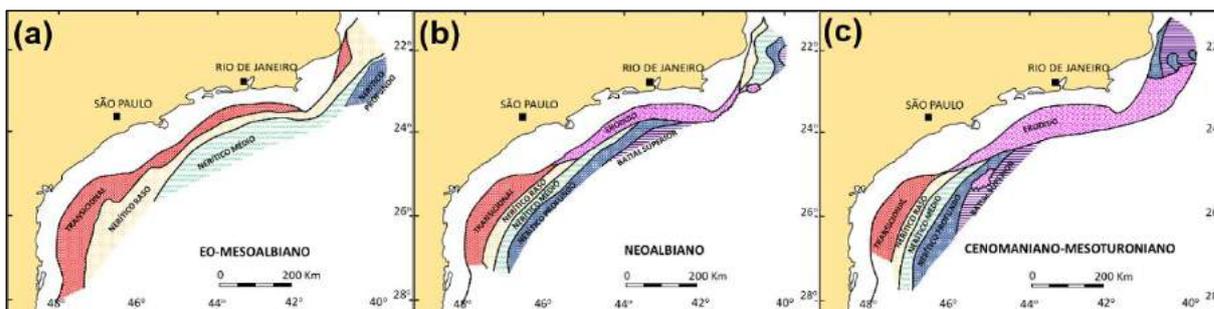


Figura 13 - Mapas paleobatimétricos das seqüências Albiana e Cenomanianas: (a) EoMeso-Albiana, (b) NeoAlbiana e (c) Cenomaniana-Mesoturoniana. Fonte: [Viviers & Azevedo \(1988\)](#), modificado pelo Autor.

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

As informações utilizadas para a elaboração deste trabalho foram requisitadas à Agência Nacional do Petróleo (ANP, <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/dados-tecnicos/acervo-de-dados>, acessado em Abril de 2022), sendo de acesso público para fins acadêmicos.

Para desenvolver um estudo de caráter regional na Bacia de Santos, foi conduzida uma seleção cuidadosa de dados sísmicos e de poços, que é ilustrada na (Figura 14).

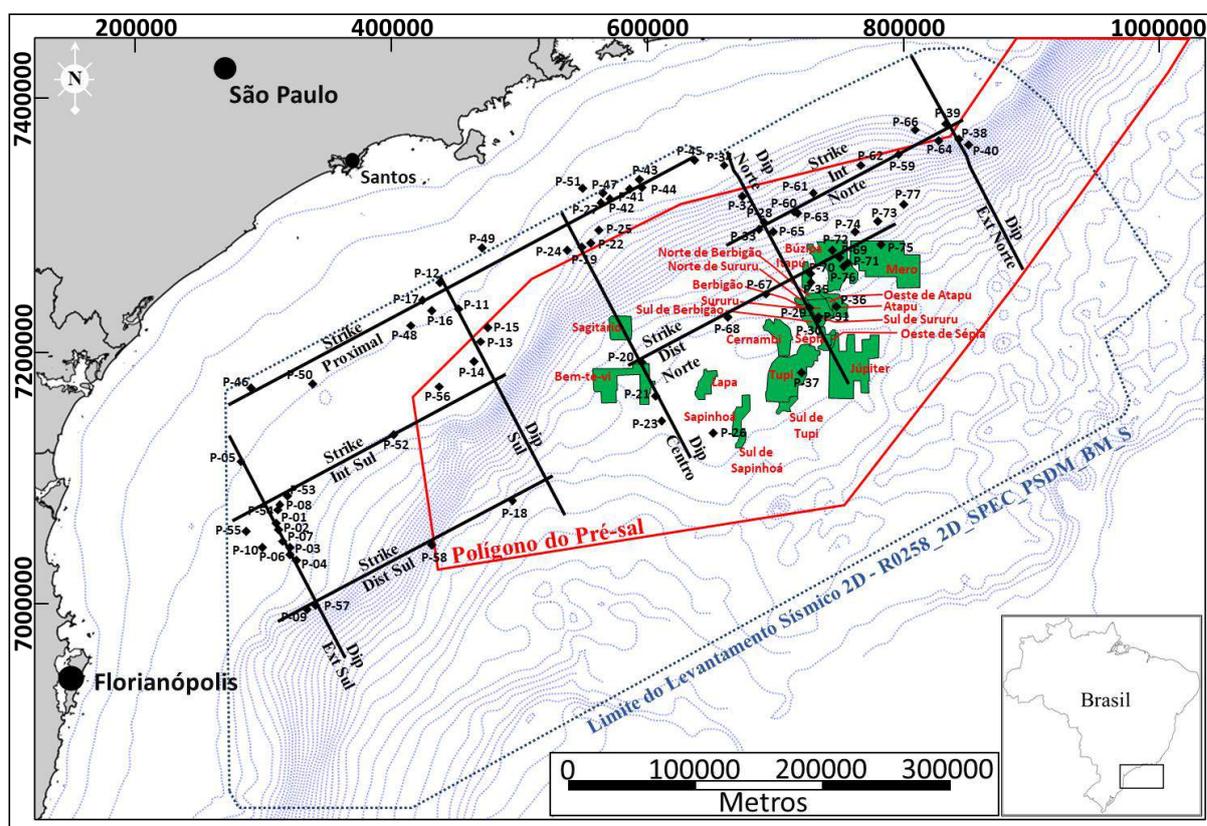


Figura 14 - Localização dos dados selecionados para a execução do projeto (77 poços e 10 seções sísmicas), bem como a posição da província do Pré-sal e seus principais campos produtores. Fonte: o Autor.

Inicialmente, foram selecionados poços cujas zonas de interesse foram total ou parcialmente perfuradas (Cenomaniano-Albiano Superior e Albiano Inferior). Após a primeira seleção, foram escolhidos poços que, preferencialmente, possuíam a suíte básica de perfis: raios gama (GR), sônico compressional (DT), densidade (RHO) e litológicos (LITO). Por fim, foi verificado no banco de dados da ANP quais desses poços eram públicos, resultando na lista final. A seleção final requerida à ANP, compreende 150 poços de utilização pública, sendo este o número máximo disponível para uma pesquisa de mestrado. O banco de dados do projeto de

informações dos poços foi constituído por perfis compostos, dados direcionais, dados de topos e bases de unidades estratigráficas perfuradas e perfis geofísicos dos poços em formato (.las).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram selecionados 77 poços, dos 150 solicitados, com ampla distribuição espacial na bacia, de maneira a proporcionar a melhor representatividade de cada região estudada, seja ela proximal, intermediária ou distal e, sul, centro e norte. A cada um destes poços foi atribuído um código para substituir a nomenclatura oficial da ANP, facilitando sua visualização, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Poços escolhidos para o projeto, contendo a relação entre a nomenclatura da ANP e código correspondente dos 77 poços escolhidos para o projeto. Fonte: o Autor.

ANP	Código Projeto						
1-BSS-55-PRS	P-01	1-BRSA-532A-SPS	P-21	1-OGX-94DA-RJS	P-41	3-BRSA-360-RJS	P-61
3-EM-4-BSS	P-02	4-BRSA-334DA-SP	P-22	1-OGX-63A-SPS	P-42	1-BRSA-555-RJS	P-62
1-BSS-60-PRS	P-03	4-BRSA-946C-SPS	P-23	1-OGX-17A-RJS	P-43	6-BRSA-1235-RJS	P-63
1-PRS-3-PR	P-04	1-SPS-18-SP	P-24	1-OGX-30-RJS	P-44	1-RJS-348-RJ	P-64
1-SCS-7-SC	P-05	1-SPS-15-SPS	P-25	1-RJS-398-RJS	P-45	1-BSS-81-BS	P-65
3-CRV-2-PRS	P-06	3-BRSA-1179-SPS	P-26	1-PRS-1-PR	P-46	1-BSS-84-BS	P-66
4-BSS-59-BS	P-07	1-SPS-7-SPS	P-27	1-OGX-12-SPS	P-47	3-SHEL-27-RJS	P-67
1-SCS-6-PRS	P-08	1-BRSA-124-RJS	P-28	1-MRK-1-SPS	P-48	1-BRSA-329D-RJS	P-68
3-BRSA-957-SCS	P-09	3-BRSA-1032-RJS	P-29	1-SPS-4A-SP	P-49	2-ANP-1-RJS	P-69
1-BSS-82A-PRS	P-10	8-SBBG-1-RJS	P-30	1-SPS-24-SP	P-50	3-BRSA-1215-RJS	P-70
1-BRSA-841-SPS	P-11	7-SBBG-2-RJS	P-31	1-SPS-2-SP	P-51	8-BUZ-21D-RJS	P-71
1-SPS-23-SP	P-12	1-AGIP-1-RJS	P-32	6-BRSA-661-SPS	P-52	3-BRSA-944A-RJS	P-72
1-SPS-20-SP	P-13	1-BRSA-597-RJS	P-33	1-BSS-57-BS	P-53	1-BRSA-886-RJS	P-73
4-BRSA-560-SPS	P-14	1-RJS-67-RJ	P-34	3-TB-2-BSS	P-54	3-BRSA-2A-RJS	P-74
6-BG-4P-SPS	P-15	1-BRSA-1116-RJS	P-35	1-BSS-71-PRS	P-55	9-MRO-1-RJS	P-75
1-SPS-14A-SP	P-16	8-ATP-7D-RJS	P-36	1-BRSA-498-SPS	P-56	8-BUZ-19D-RJS	P-76
1-SPS-22-SP	P-17	9-LL-12D-RJS	P-37	1-BRSA-617-SCS	P-57	1-BSS-69-RJS	P-77
1-BRSA-757B-SPS	P-18	1-RJS-99-RJ	P-38	1-BRSA-1050-SPS	P-58		
1-BSS-62-BS	P-19	1-RJS-107-RJ	P-39	1-RJS-199B-RJ	P-59		
3-EQNR-1-SPS	P-20	1-BRSA-905-RJS	P-40	1-BRSA-103-RJS	P-60		

A fim de atender as necessidades do estudo proposto, foram pesquisados levantamentos sísmicos de extensão areal regional adquiridos sobre a Bacia de Santos. Não existe um dado sísmico tipo 3D de caráter regional na Bacia de Santos. Assim, foi utilizado um levantamento regional tipo 2D denominado R0258\_2D\_SPEC\_PSDM\_BM\_S, com processamento tipo *Kirchhoff* PSDM (migração em profundidade pré empilhamento) contendo 222 linhas 2D de amplitude e de velocidade nas direções SW-NE (orientada na direção *strike* da bacia) e SE-NW (orientada na direção *dip* da bacia). Os principais parâmetros da aquisição e do processamento estão dispostos na Tabela 2. As seções sísmicas de amplitude seguem a convenção normal de polaridade da SEG (*Society of Exploration Geophysicists*), na qual um aumento de impedância acústica é representado por uma reflexão positiva (cor preta na escala *greyscale*) e uma diminuição de impedância acústica é representada por uma reflexão negativa (cor branca na escala *greyscale*).

Dentre as 222 linhas do dado sísmico PSDM *Kirchhoff* 2D de amplitude e velocidade

carregado, foram selecionadas 10 linhas, sendo 5 na direção *dip* e 5 na direção *strike*, de modo que se obtivesse, assim como para os poços selecionados, uma melhor representatividade dos dados nas regiões sul, centro e norte, além dos domínios proximal, intermediário e distal da bacia. Bem como na nomenclatura dos poços, foi escolhido um código para cada seção sísmica utilizada. A Tabela 3 apresenta a equivalência entre a numeração das linhas escolhidas, no banco de dados da ANP e os códigos adotados nesta pesquisa.

Tabela 2 - Parâmetros da aquisição sísmica e do respectivo processamento referentes aos dados sísmicos utilizados na pesquisa. Fonte: o Autor.

<b>R0258_2D_SPEC_PSDM_BM_S</b>	
Companhia	Geco-Prakla
Ano Aquisição	2000
Tipo	2D
Fonte	Air Gun (8 canhões em 3 arranjos)
# de Cabos	1
Intervalo Pto Tiro	37,5m
Receptores	320 grupos c/ 16 hidrofones cada
Intervalo Grupo	12,5m
Processamento	Pre-Stack Kirchhoff PSDM
# linhas Amplitude	222
# linhas Velocidade	222
Amostragem	5m
Máximo Z	16 Km

Tabela 3 – Linhas sísmicas escolhidas para a pesquisa. Relação entre a nomenclatura da ANP e código correspondente das 10 linhas sísmicas escolhidas para a pesquisa. Fonte: o Autor.

<b>ANP</b>	<b>Orientação relativa a bacia</b>	<b>Código Projeto</b>
0258-1263	Dip	Dip Ext Sul
0258-1467	Dip	Dip Sul
0258-1575	Dip	Dip Centro
0258-1711	Dip	Dip Norte
0258-1875	Dip	Dip Ext Norte
0258-1140	Strike	Strike Proximal
0258-1220	Strike	Strike Int Sul
0258-1308	Strike	StrikeDist Sul
0258-1212A	Strike	Strike Int Norte
0258-1260	Strike	Strike Dist Norte

A execução desta pesquisa envolveu a utilização de três *softwares* principais:

- SIGEO, da Petrobras, no qual foi elaborado todo o trabalho de revisão do zoneamento,

desde a seleção dos poços, bem, como a análise dos perfis elétricos e de litologia;

- OPENWORKS da Halliburton, no qual foram carregados poços e linhas sísmicas de amplitude e velocidade, para interpretação 2D de falhas e horizontes;
- SKUA-GOCAD da Aspen-Tech, no qual foram carregados poços e linhas sísmicas de amplitude e velocidade, para análises estatísticas e manipulação dos modelos de velocidade 2D;

## 7 METODOLOGIA

O método aplicado para o desenvolvimento desta pesquisa inclui etapas distintas, ilustradas na Figura 15, as quais serão abordadas separadamente, na sequência.

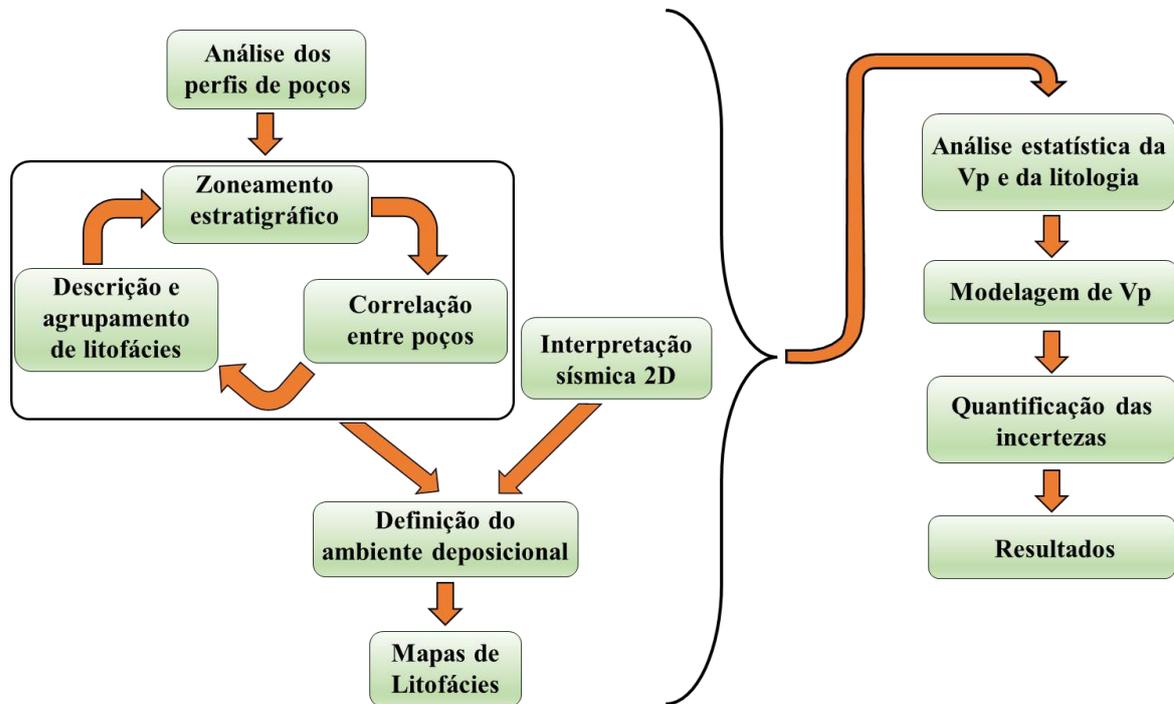


Figura 15 - Metodologia aplicada na pesquisa. Fonte: o Autor.

### 7.1 Tratamento de Perfis

A fim de realizar o zoneamento estratigráfico, foram selecionados alguns perfis, considerados estratégicos, importados diretamente dos arquivos .las providos pela ANP, como o de raios gama, o de densidade e a coluna litológica. Outros perfis de grande importância para o projeto tiveram que ser calculados, como o de velocidade compressional, calculado a partir do perfil de sônico compressional e o de impedância acústica, obtido a partir dos perfis de velocidade compressional e de densidade.

A Figura 16 apresenta o cálculo de  $V_p$  e a Figura 17 apresenta o cálculo de  $I_p$ .

$$V_p = 304800 * 1/DT$$

Figura 16 - Cálculo de  $V_p$ . Onde  $V_p$  corresponde a velocidade compressional (em m/s) e DT ao sônico compressional (em  $\mu\text{s}/\text{pé}$ ). O número 304800 corresponde ao fator de conversão de pés para metro e de

microssegundos para segundos, no sentido de se obter o valor de Vp

$$I_p = V_p * Dens$$

Figura 17 - Cálculo de Ip. Onde Ip corresponde a impedância acústica (gm/cm3s), Vp a velocidade compressional (m/s) e Dens, a densidade (g/cm3).

A Tabela 4 apresenta os códigos dos perfis utilizados na pesquisa.

Tabela 4 – Nomenclatura, valores das escalas e cores adotadas para perfis utilizados no projeto. Fonte: o Autor.

Perfis:		
Código Projeto	Tipo	Valores da Escala
DT	Sônico Compressional	40 a 240 µs/pé
RG	Raio Gama	0 a 140 API
D ou Dens	Densidade	1 a 3 g/cm <sup>3</sup>
Vp	Velocidade Compressional	1500 a 7000 m/s
Ip	Impedância Acústica	0 a 20000 gm/cm <sup>3</sup> s
L ou Lito	Litologia	---

A Tabela 40 no anexo 3, apresenta os símbolos e códigos de litologia utilizados nas imagens dos poços, seções estratigráficas e análises estatísticas de litologia.

## 7.2 Zoneamento estratigráfico

A referência para o zoneamento estratigráfico adotado nesta pesquisa é o trabalho de [Moreira et al. \(2007\)](#), o qual descreve as sequências deposicionais K60, depositada do Albiano Inferior até o Albiano Médio, K70, depositada no Albiano Superior e K82-86, depositada desde o Cenomaniano até o Turoniano Médio. A Figura 18 corresponde a um recorte da carta estratigráfica da Bacia de Santos, enfatizando o intervalo Albiano-Cenomaniano e relacionando as sequências deposicionais descritas por [Moreira et al. \(2007\)](#) com o zoneamento adotado nesta pesquisa.

A observação de padrões de empilhamento dos sedimentos siliciclásticos e carbonáticos nos dados dos 77 poços selecionados, feita a partir da análise dos perfis elétricos, como raios gama, sônico compressional, velocidade compressional, densidade, impedância acústica e do perfil litológico, levou a determinação de ciclos deposicionais separados por superfícies de transgressão, seguindo o modelo de Galloway que afirma que suas sequências genéticas são limitadas por superfícies de inundações máximas (limites de sequências) ([Galloway, 1989](#)).

Foi adotada a seguinte divisão para as zonas estratigráficas desta pesquisa:

- **Zona K60-20**, correspondente à sequência basal de terceira ordem estratigráfica K60-10/20 de [Moreira et al., 2007](#), de idade Albiano Inferior;
- **Zona K60-50**, como sendo a sequência intermediária de terceira ordem estratigráfica K60-40/50 (Albiano Inferior a Médio) de [Moreira et al., 2007](#);
- **Zona K60-80**, referente a sequência superior de terceira ordem estratigráfica K60-70/80 (Albiano Médio) de [Moreira et al., 2007](#);
- **Zona AlbSup-Ceno**, associada às Sequências K70 (Albiano Superior) e K82-86 (Cenomaniano) de [Moreira et al., 2007](#);

Observou-se uma dificuldade em separar os níveis estratigráficos referentes as sequências deposicionais do Albiano Superior (K70) e Cenomaniano (K82-86) devido à ausência de quebras de padrões significativas nos perfis, talvez pelo caráter transgressivo das duas sequências, e optou-se por juntá-las em uma zona única.

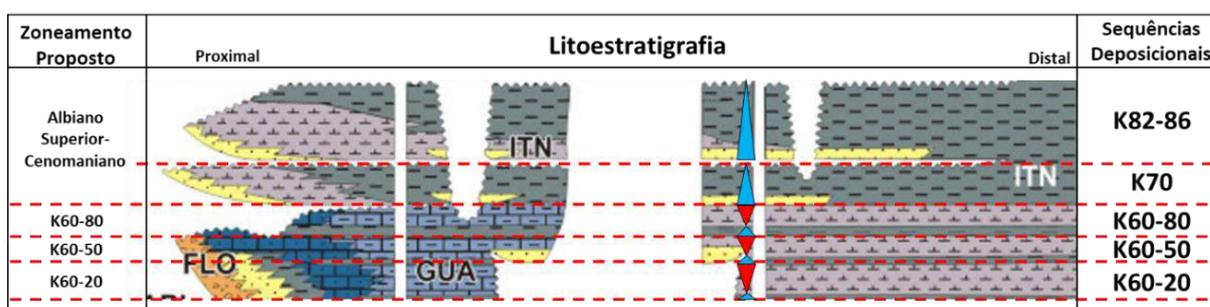


Figura 18 - Recorte da carta estratigráfica da Bacia de Santos, apresentando as rochas de idades Albiano-Cenomanianas e o zoneamento adotado na pesquisa com as sequências deposicionais descritas na literatura. As siglas ITN, FLO e GUA se referem a nomenclatura das formações geológicas descritas na literatura, respectivamente Itanhaém, Florianópolis e Guarujá. Fonte: [Moreira et al. \(2007\)](#), modificado pelo Autor.

A Figura 19 ilustra a análise elaborada no poço P-10, que inclui o zoneamento estratigráfico, a análise das litofácies presentes nas zonas, a proposta de sistema deposicional para cada zona e as análises estatísticas da Vp e da Lito.

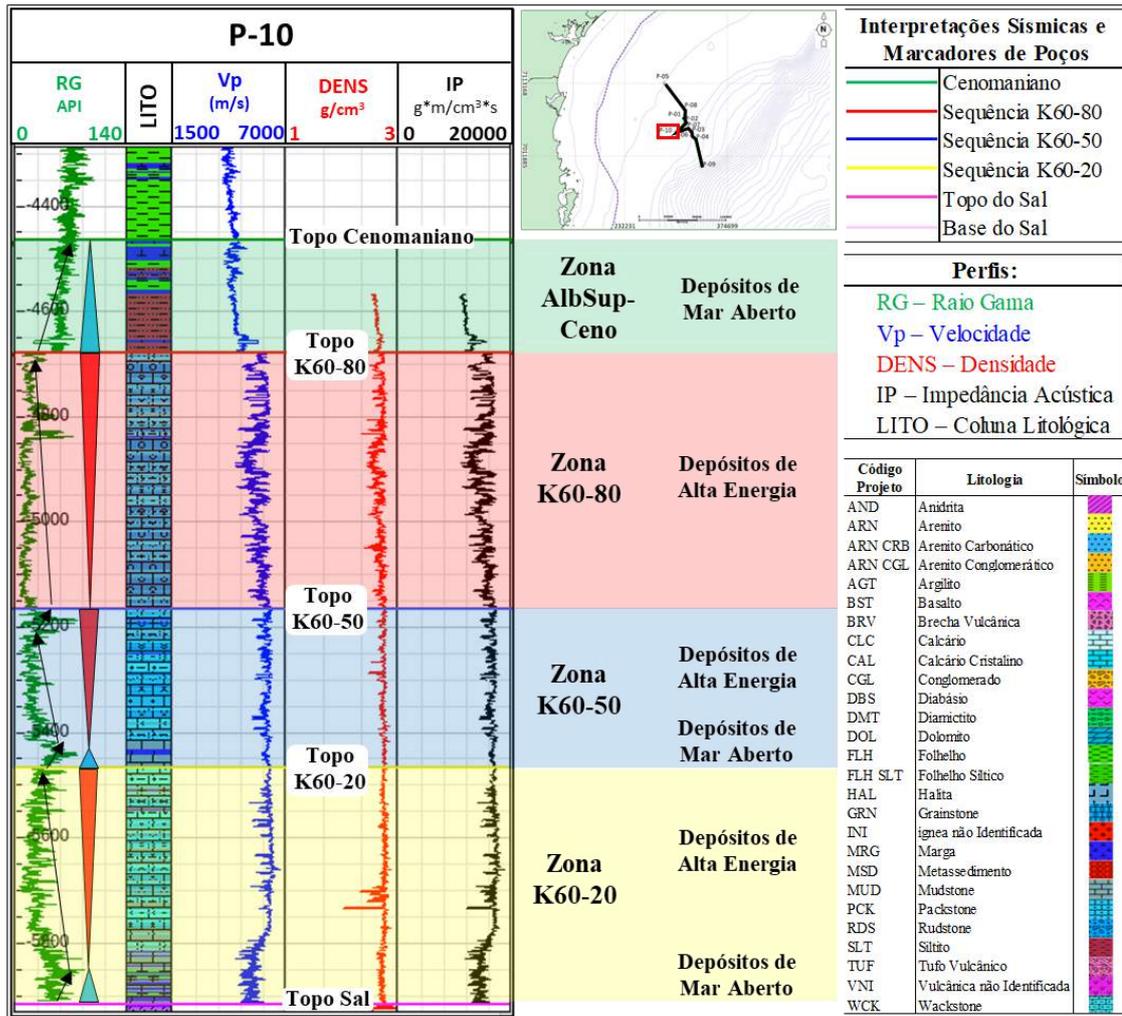


Figura 19 - Análise estratigráfica realizada nos poços da pesquisa: zoneamento estratigráfico, interpretação dos ciclos deposicionais e interpretação de ambientes por zona estratigráfica. Fonte: o Autor.

### 7.3 Interpretação sísmica

As 10 linhas selecionadas, sendo 5 na direção *dip*, doravante denominadas *dip* extremo sul, *dip* sul, *dip* centro, *dip* norte e *dip* extremo norte e 5 na direção *strike*, doravante denominadas *strike* proximal, *strike* intermediária sul, *strike* intermediária norte, *strike* distal sul e *strike* distal norte, de forma a se obter uma representação areal das regiões proximal, intermediária e distal da bacia, conforme disposto na Tabela 3 e ilustrado na Figura 20.

A etapa de calibração em profundidade entre os níveis estratigráficos identificados nos poços e os refletores sísmicos das linhas de amplitude, utilizando os perfis sônico e densidade de cada poço, não foi executada devido a considerável distância entre os poços e as seções sísmicas, o que acarretou um considerável *mistie* entre as seções sísmicas e os poços, não sendo possível a geração das amarrações tempo-profundidade e dos sintéticos de cada poço.

Dada a limitação de não existirem reais linhas *well-tie*, para que fosse calibrada a sísmica com os poços e se obtivesse a posição exata dos refletores a serem rastreados, a interpretação se baseou em marcadores de poços mais próximos às linhas sísmicas como referência para a interpretação, diretamente no domínio da profundidade.

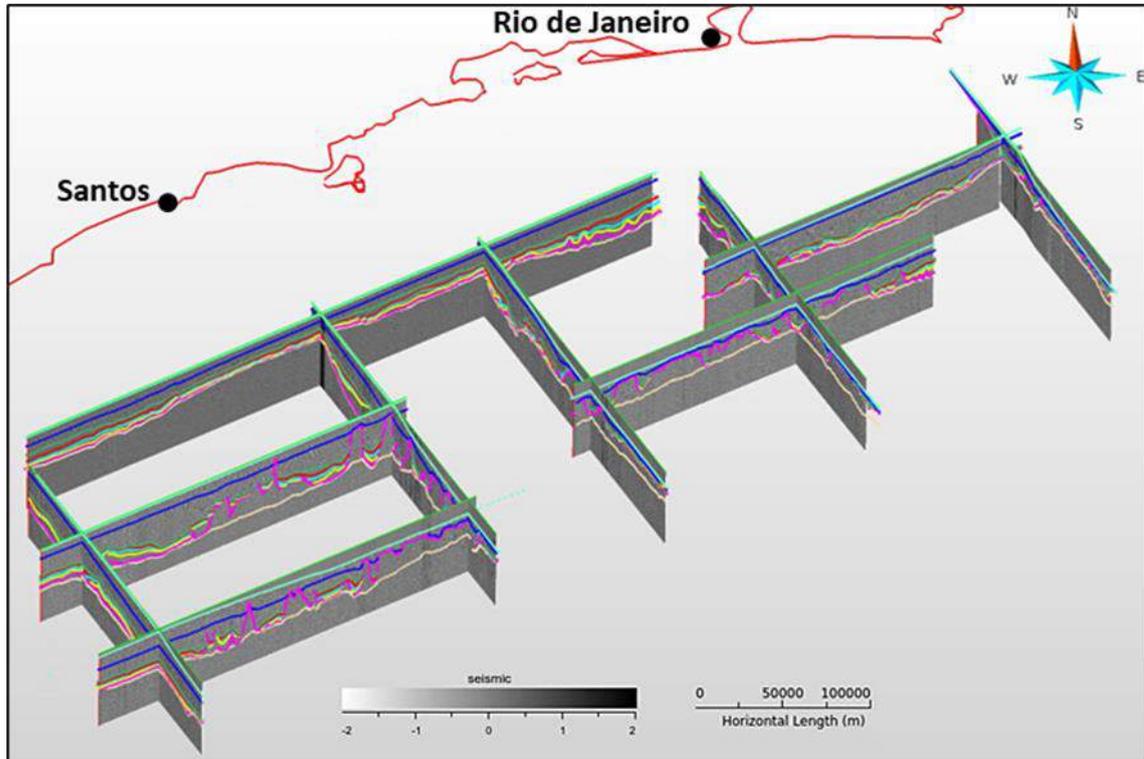


Figura 20 - Distribuição das linhas sísmicas 2D interpretadas. Fonte: o Autor.

Foram interpretados os seguintes horizontes 2D: fundo do mar, Cretáceo sísmico, zona Cenomaniano-Albiano Superior, zona K60-80, zona K60-50, zona K60-20, topo do sal e base do sal. Além dos horizontes 2D, também foram interpretados *sticks* de falhas, apenas sobre as seções 2D.

#### 7.4 Correlações entre Poços

Com a delimitação dos principais níveis estratigráficos de interesse em cada poço (leiam-se limites de sequência), foram estabelecidas correlações entre os poços estudados a partir de 10 seções estratigráficas selecionadas de modo a determinar a distribuição areal das litofácies de cada zona em sua idade de deposição.

Ressalta-se aqui que a escolha dos 77 poços do projeto não foi aleatória. A seleção levou em consideração a posição espacial dos poços na bacia, de modo que cada seção de correlação

estratigráfica estivesse posicionada o mais próximo possível de uma das seções sísmicas selecionadas, como exemplificado na Figura 21.

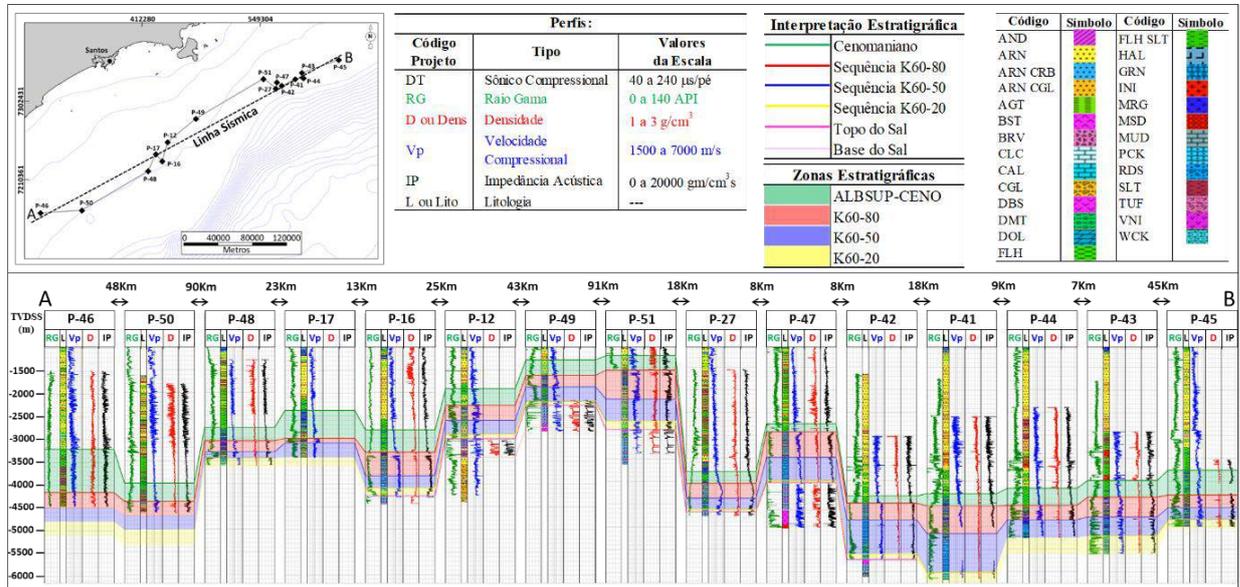


Figura 21 - Seção de correlação estratigráfica entre poços, com zoneamento adotado. Fonte: o Autor.

## 7.5 Síntese e agrupamento das litofácies

Após a correlação elaborada em cada seção estratigráfica, foi realizado um resumo das litofácies de cada zona, em cada poço utilizando, principalmente, os perfis litológicos dos poços e secundariamente, padrões de empilhamento.

Para a uniformização da nomenclatura das rochas carbonáticas, foi adotada a classificação de [Dunham \(1962\) in Terra et al. \(2010\)](#) (Figura 22).

TEXTURA DEPOSICIONAL RECONHECÍVEL				Textura deposicional não-reconhecível	
Componentes originais não-ligados durante a deposição			Componentes originais ligados durante a deposição		
Contém Matriz (Partículas tamanho argila/silte fino)					
Suportado pela matriz		O arcabouço é grão-suportado com matriz			
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline

Figura 22 - Classificação de rochas carbonáticas. Fonte: [Terra et al. \(2010\)](#), adaptado de Dunham (1962).

A análise estratigráfica possibilitou a identificação inicial de trinta e três litofácies que posteriormente foram agrupadas e posicionadas em nove litofácies “finais” baseado em sua posição dentro do modelo adotado para o sistema deposicional.

## **7.6 Confeção de mapas de litofácies**

Tendo como base as descrições de litofácies elaboradas a partir da coluna litológica descrita nos poços, as análises das seções de correlação, as interpretações sísmicas e, trabalhos pretéritos, foram confeccionados mapas litofaciológicos das quatro sequências analisadas.

Além das interpretações de poços e da sísmica, foi muito utilizado o mapa do topo do embasamento da bacia (Figura 30), derivado de interpretação sísmica, o qual ilustra os altos e baixos estruturais atuais. Foi verificada uma certa correlação dessas estruturas atuais do embasamento com certas litofácies interpretadas nos poços e assim, foi assumida uma base de correlação para a extrapolação das litofácies, ao longo da bacia, onde não existem poços perfurados.

## **7.7 Análises estatísticas de velocidade compressional e litologia**

O principal objetivo desta análise é a caracterização da velocidade compressional ( $V_p$ ) das rochas nas zonas estratigráficas estudadas, a fim de se entender sua distribuição areal na bacia. Para o correto entendimento das estatísticas computadas de  $V_p$ , se tornou imprescindível realizar uma análise do perfil litológico (Lito) pois é evidente que a propriedade física  $V_p$  depende, não só, mas principalmente, dos litotipos que compõem cada zona estratigráfica.

As análises foram realizadas para cada uma das zonas estratigráficas, AlbSup-Ceno, K60-80, K60-50 e K50-20, setorizadas por região da bacia e denominadas: toda a bacia, região proximal, região intermediária e região distal (Tabela 5).

A Figura 66 apresenta os 77 poços do projeto, utilizados na análise de toda a bacia e, os utilizados na análise de cada setor, proximal (azuis), intermediária (vermelhos) e distal (magenta).

Também foi realizada em cada um dos 77 poços isoladamente, a análise da  $V_p$ , apresentada como histogramas e da litologia, ilustrada como pizzas, com a finalidade de ajudar na classificação das litofácies presentes em cada zona estratigráfica e na definição do ambiente deposicional (Figura 23).

Tabela 5 - Setorização da bacia adotada na pesquisa e as respectivas zonas analisadas, o que resultou em 16 análises estatísticas. Fonte: o Autor.

Setor da Bacia	Zona Estratigráfica
Toda a Bacia	AlbSup-Ceno
	K60-80
	K60-50
	K60-20
Setor Proximal	AlbSup-Ceno
	K60-80
	K60-50
Setor Intermediário	AlbSup-Ceno
	K60-80
	K60-50
Setor Distal	AlbSup-Ceno
	K60-80
	K60-50
	K60-20

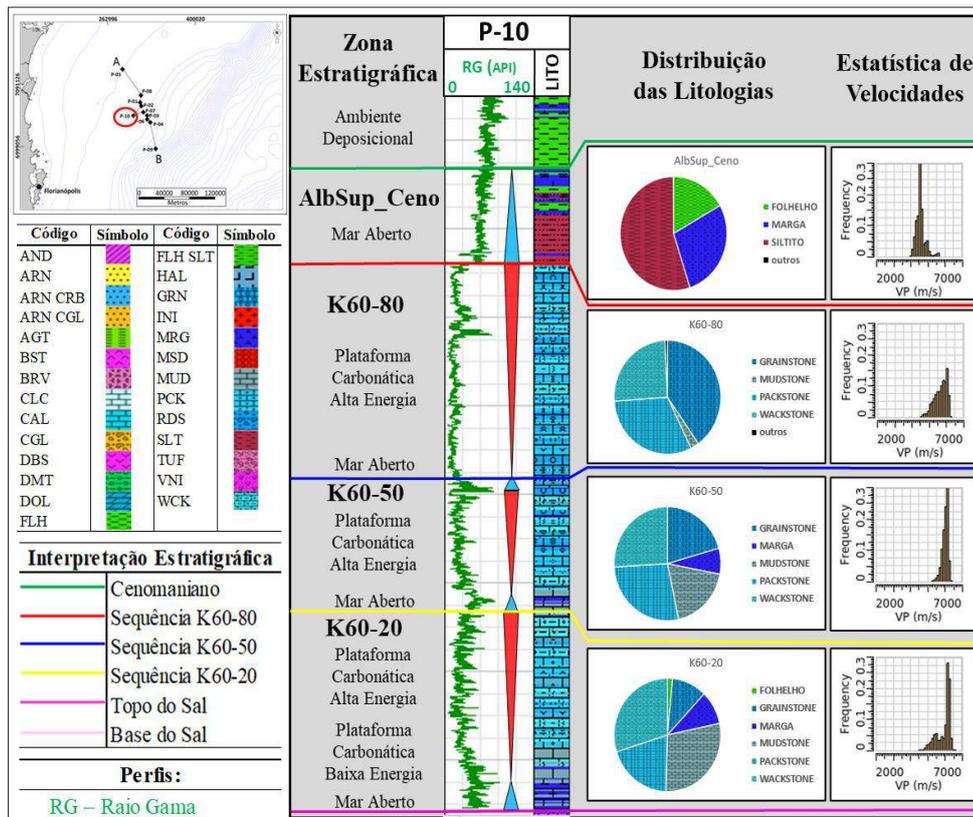


Figura 23 - Exemplo de análise estatística de Vp e Litologia realizada em poços, considerando a análise estratigráfica realizada, por zona estratigráfica. Fonte: o Autor.

A partir dos perfis de Vp, foram obtidos valores estatísticos como mínimo, máximo,

médio e desvio padrão, os quais, são apresentados na forma de tabelas, além da distribuição, ilustrada em histogramas. Do perfil litológico foi estimado apenas o percentual de cada litotipo, apresentado como gráficos de barras.

As formas dos histogramas de Vp, assim como os valores estatísticos, obtidos em cada análise são, geralmente, justificadas pelo conteúdo litológico explicitado, ilustrado na forma de gráficos de barras, do maior percentual para o menor.

Um fator importante a ser levado em conta quando consideramos o aumento da Vp em cada zona estratigráfica, à medida que a profundidade aumenta, é o soterramento que será abordado mais à frente.

## 7.8 Modelagem da Vp

Esta etapa consistiu na incorporação de todos os dados levantados, com a finalidade de quantificar as incertezas relativas à variação da velocidade compressional das camadas Albianas-Cenomanianas nas regiões proximal, intermediária e distal da Bacia de Santos.

A Figura 24 ilustra o fluxo de modelagem implementado. A finalidade da modelagem consistiu na criação de 3 cenários alternativos de modelos de Vp, baseados exclusivamente na modificação da Vp do processamento, nas camadas Albianas-Cenomanianas, por médias de velocidade oriundas das análises estatísticas.

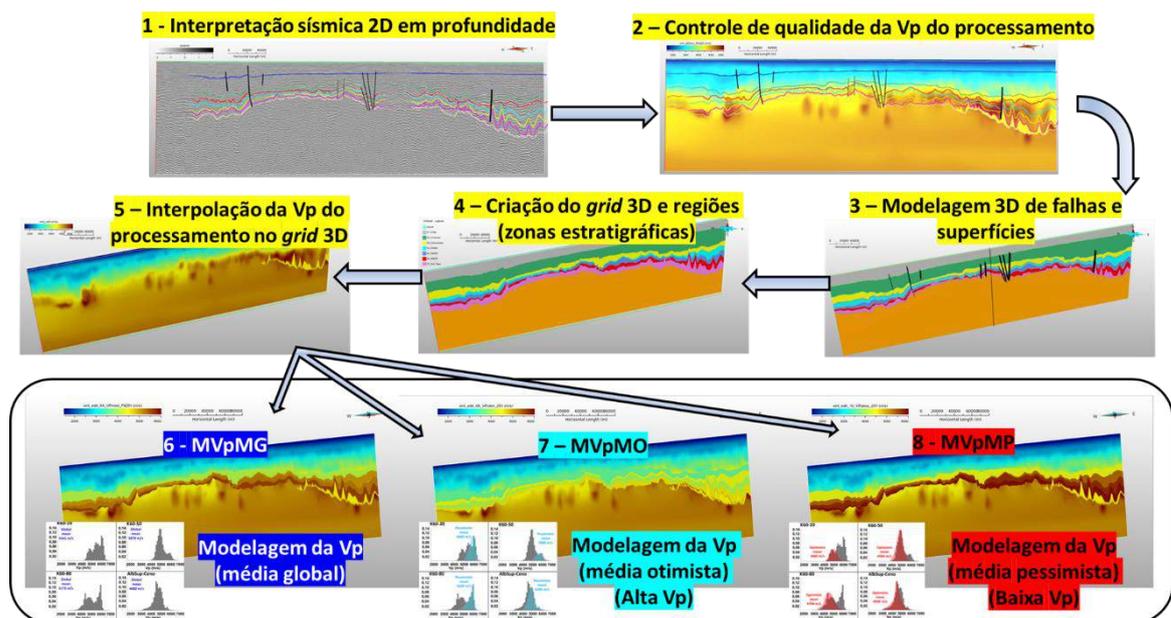


Figura 24 - Fluxo completo de modelagem da Vp, a partir da edição das velocidades nas zonas estratigráficas do Albiano e Cenomaniano visando a criação dos cenários alternativos. Fonte: o Autor.

Foram utilizadas as interpretações de horizontes e falhas de cada seção sísmica 2D, para a construção de *grids* geológicos, cujas camadas representassem regiões independentes umas das outras e, que fosse permitida a edição da propriedade Vp em cada camada. A modificação da Vp nas zonas estratigráficas estudadas seguiu critérios estabelecidos a partir da análise estatística realizada nos poços, em cada setor da bacia, proximal, intermediário e distal.

Inicialmente, foram criados os *grids* geológicos, com amostragem espacial de 50 x 50 m, amostragem vertical de 20 m e profundidade máxima de 12 Km, utilizando os horizontes e as falhas interpretados nas seções sísmicas *dip* e *strike* (Figura 25).

A seguir, a Vp original do processamento, importada do arquivo *segy*, foi transferida para cada *grid*, como uma propriedade editável. A criação dos *grids* permitiu a individualização das zonas estratigráficas, aqui estudadas, para que fossem efetuadas operações matemáticas sobre a propriedade Vp, apenas nessas regiões e, fossem criados os diferentes modelos de Vp.

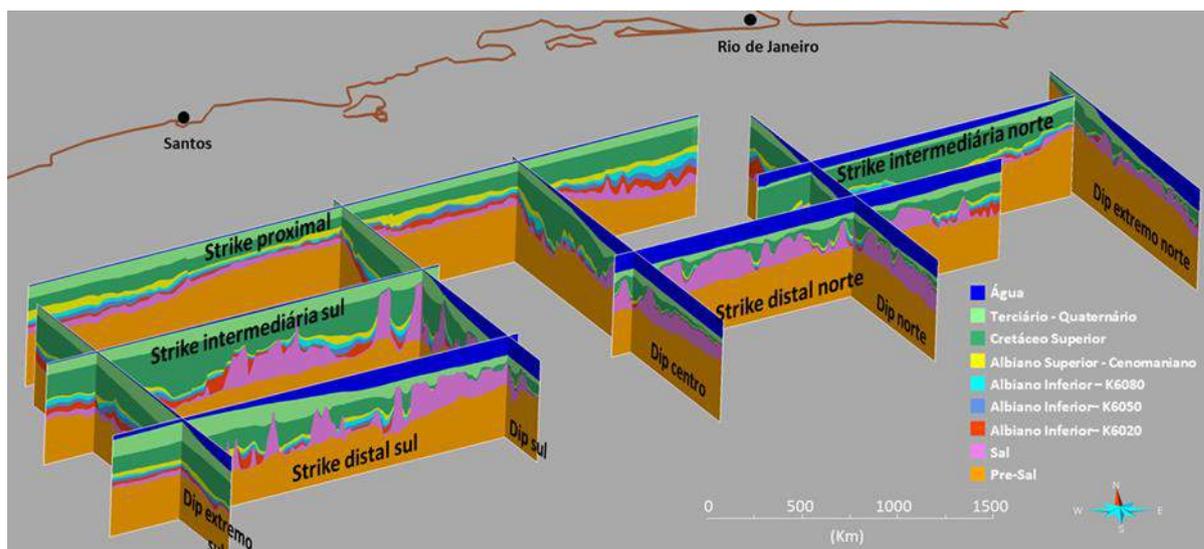


Figura 25 - *Grids* geológicos criados para cada seção sísmica 2D, a partir de interpretação de horizontes e falhas. Fonte: o Autor.

Para a incorporação dos valores de médias de Vp foi necessária a definição espacial dos setores proximal, intermediário e distal na bacia. Esta etapa consistiu no desenho de linhas limítrofes usando como pontos de controle, os poços (e suas características) e as seções sísmicas e estratigráficas que compõem o projeto (Figura 26).

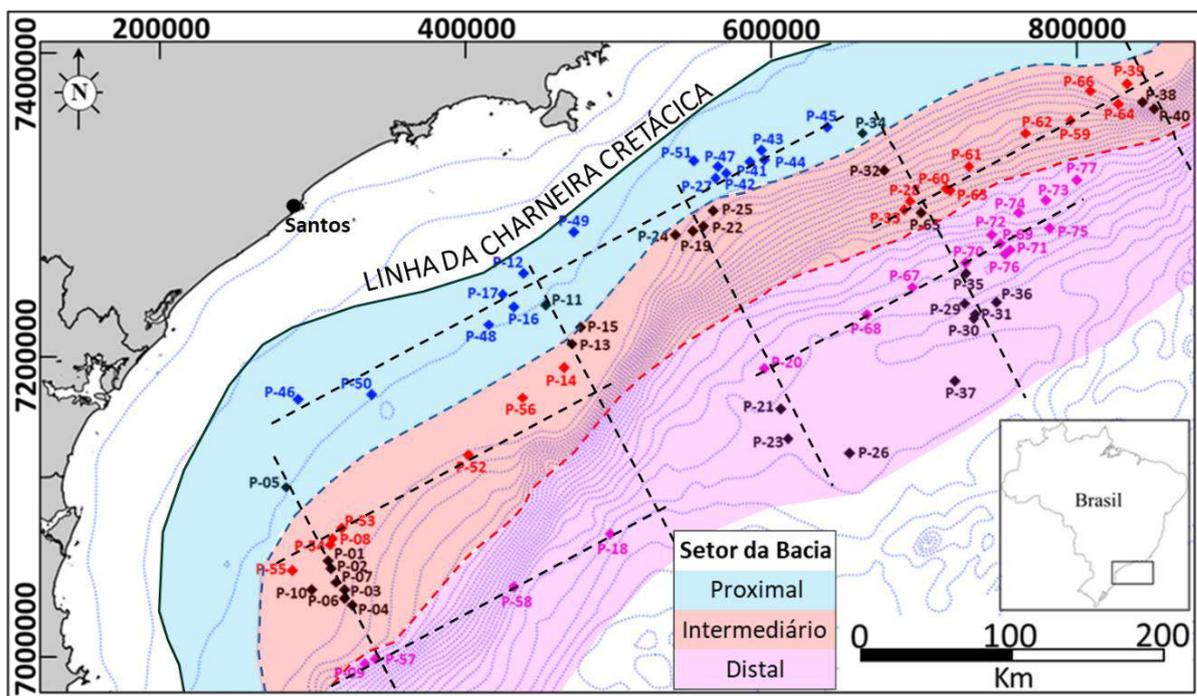


Figura 26 - Mapa com a definição dos setores da bacia adotados no projeto (proximal, intermediário e distal).  
 Fonte: o Autor.

Para realizar a alteração da  $V_p$  em cada camada de cada cenário, foram utilizados os resultados provenientes da análise estatística da  $V_p$  e da litologia, realizada nos poços, em cada setor da bacia. Para cada grid geológico, foram criados três cenários de modelagens, utilizando valores estimados de média das velocidades intervalares, levando-se em consideração ou não a forma dos histogramas. O primeiro cenário considera apenas o valor médio da  $V_p$ . Para os demais cenários foi levada em consideração a forma das distribuições e, necessário subdividi-las nas chamadas “moda otimista” e moda pessimista”, além da estimativa de suas médias de  $V_p$ . A seguinte nomenclatura foi adotada para identificar cada um dos cenários de modelagem:

**MVpMG** – utilizando o que se convencionou chamar de “média global” da distribuição da  $V_p$ , considerando todos os dados da distribuição sem importar a sua forma;

**MVpMO** – utilizando a, aqui chamada, “média otimista” que representa a média, visualmente estimada, da moda de  $V_p$ , relativamente, mais baixa (desenhada em vermelho na Figura 83).

**MVpMP** – utilizando a, aqui denominada, “média pessimista” que representa a média, visualmente estimada, da moda de  $V_p$ , relativamente, mais alta (desenhada em azul claro na

Figura 83).

É importante frisar que, as seções *strike* estão inteiramente contidas em seus respectivos setores, sendo necessária apenas a modelagem da velocidade, de maneira constante ao longo das zonas estratigráficas de estudo. Assim, os parâmetros de médias de  $V_p$  obtidos da análise estatística do setor proximal serão utilizados somente na seção *strike* proximal, enquanto os parâmetros de médias de  $V_p$  do setor intermediário serão utilizados nas seções *strike* intermediárias norte e sul e, os parâmetros de médias de  $V_p$  do setor distal serão utilizados nas seções *strike* distal norte e sul.

Entretanto, as seções *dip* atravessam os três setores, sendo necessária a definição de regiões representativas de cada um dos setores, em cada uma das zonas estratigráficas estudadas. Assim, para cada zona estratigráfica, existirão parâmetros de médias de  $V_p$  para os setores proximal, intermediário e distal.

A alteração da propriedade  $V_p$  em cada zona estratigráfica de cada linha analisada foi concebida a partir da simples alteração da  $V_p$  do processamento na camada, por seu respectivo valor, proveniente da análise estatística (explicitados na Tabela 22 e na Figura 83).

A última etapa da modelagem envolveu a aplicação de um filtro espacial e vertical, cuja finalidade foi a suavização das interfaces geradas pela alteração das velocidades nas zonas estratigráficas, para que não fossem criados artefatos na etapa de conversão tempo-profundidade das superfícies.

## 7.9 Quantificação das incertezas

Esta etapa consistiu na quantificação (variação percentual) da modificação da  $V_p$  dos três cenários criados em relação a  $V_p$  original do processamento. O fluxo de trabalho realizado está ilustrado na Figura 27.

Por se tratar de um dado sísmico 2D, não foi possível fazer uma estimativa volumétrica do GRV (*gross rock volume*) acima de uma superfície de referência (normalmente um contato O/A), ou seja, volume de rocha acima do contato O/A.

Para estas comparações, foi utilizada a média das espessuras estimadas entre o horizonte da base do sal (possível topo de reservatórios do pré-sal) e um horizonte de referência, computadas no agora chamado “cenário original” ( $V_p$  do processamento) e, em cada um dos três cenários modificados, doravante denominados MVpMG, MVpMO e MVpMP.

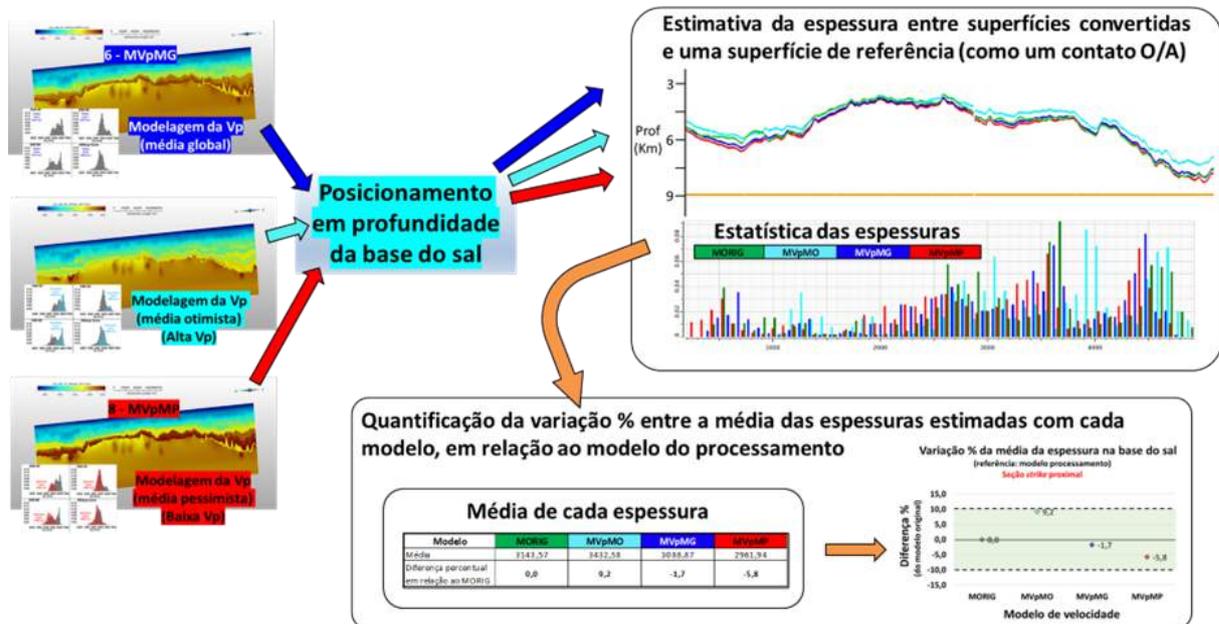


Figura 27 - Fluxo de trabalho realizado na etapa de quantificação das incertezas dos modelos de velocidade criados. Fonte: o Autor.

Para a conversão tempo-profundidade, o software utilizado neste trabalho requer que, tanto as interpretações, quanto o modelo de velocidade, estejam no domínio do tempo. A etapa de modelagem foi conduzida, em sua totalidade, no domínio da profundidade. Assim, foi necessária a conversão de todos os modelos finais, de cada linha analisada, para tempo, usando a equação de *Dix* (utilizando o modelo de  $V_p$  original do processamento).

Assim, com os dados no domínio do tempo, o horizonte da base do sal foi convertido para profundidade com cada um dos modelos dos quatro cenários (original e modificados). A seguir, foi computada a espessura entre cada um desses horizontes e um horizonte de referência, o qual foi criado sempre em uma profundidade maior que a dos horizontes convertidos.

Foi feita uma análise da distribuição das espessuras e, o valor médio, utilizado no cálculo da variação percentual dos cenários MVpMG, MVpMO e MVpMP, em relação ao cenário original. O resultado foi ilustrado na forma de gráficos de variação percentual em relação ao cenário original.

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 8.1 Detalhamento geológico (base para modelagem geológica de Vp)

#### 8.1.1 Zoneamento estratigráfico

O zoneamento estratigráfico proposto para os intervalos Albiano e Cenomaniano, perfurados nos 77 poços do projeto, seguiu uma divisão similar àquela descrita em [Moreira \*et al.\* \(2007\)](#), citada na seção 5.4 - Sequências Albanas-Cenomanianas. Foram delimitadas quatro zonas estratigráficas, da base para o topo: K60-20, K60-50 e K60-80, correlatas as três sequências estratigráficas do Albiano Inferior e a zona AlbSup-Ceno, correlata ao as duas sequências estratigráficas do Albiano Superior e Cenomaniano agrupadas.

Foi constatada uma grande variação litológica, reflexo direto de fatores tais como a região de deposição na bacia (proximal, intermediária ou distal), a topografia pretérita do topo da camada evaporítica aptiana, e a tectônica imposta, preferencialmente halocinética.

A zona K60-20 marca o início da fase marinha na bacia e suas rochas repousam diretamente sobre os evaporitos salinos aptianos. Como um todo, a sequência corresponde a uma transgressão marinha. Sua base corresponde ao topo dos evaporitos salinos e o topo, a base das litofácies que representam uma superfície de inundação, interpretada como a base da zona K60-50. A estruturação, tanto do topo do embasamento (Figura 30) quanto do topo do rifte exerceram influência direta na distribuição das litofácies desta zona. Se apresentando como uma faixa paralela a charneira cretácica, na região muito proximal, as litofácies presentes são predominantemente siliciclásticas, resultantes da deposição sedimentar transicional continental-marinha. A partir desta faixa, bacia adentro, observa-se o predomínio da sedimentação carbonática com presença de litofácies carbonáticas de granulometria fina e, litofácies carbonáticas de granulometria mais fina e siliciclásticos como folhelhos e margas intercalados, ambas associadas à baixos estruturais, ou seja, ambientes de baixa energia. Em altos estruturais relativos, litofácies carbonáticas de alta energia, como bancos carbonáticos, se desenvolveram. Onde existe espessura suficiente para ser identificado, é possível observar um ciclo inicial transgressivo seguido de outro ciclo de razeamento ascendente, como no poço P-10 (Figura 46). Bastante limitadas à região externa da bacia, litofácies mistas, carbonáticas/siliciclásticas e, siliciclásticas de granulometria fina são descritas. Na região norte da bacia, foram observadas litofácies siliciclásticas presentes na região intermediária da bacia,

atribuídas a um grande canal turbidítico.

A zona K60-50 identifica uma subida relativa do nível do mar, com deslocamento de litofácies de águas profundas, antes limitadas a região mais externa da bacia, por sobre a extensa plataforma carbonática desenvolvida na zona K60-20. A base da zona corresponde a litofácies fina que representa o afogamento da zona K60-20 e o topo, a base de uma nova superfície de inundação, referente a base da zona K60-80. Na zona costeira proximal, observa-se a contínua deposição de litofácies predominantemente siliciclásticas, sem variação lateral na área de deposição, indicando que essa transgressão marinha se limitou as regiões intermediária e distal da bacia. Litofácies carbonáticas tem distribuição mais limitada quando comparada com a da zona K60-20, Litofácies de baixa energia são encontradas em uma faixa paralela àquela representada pelos sedimentos siliciclásticos/mistos costeiros e, nos flancos dos altos relativos, onde se desenvolvem bancos carbonáticos de alta energia. Foi notado um caráter deposicional, ora agradacional, como visto no poço P-11 (Figura 49), ora como um ciclo inicial transgressivo seguido de outro ciclo de razeamento ascendente, como no poço P-10 (Figura 46). Com distribuição muito mais abrangente que na zona K60-20, litofácies mistas, carbonáticas/siliciclásticas e, siliciclásticas de granulometria fina, associadas à deposição em mar aberto, são observadas em grande parte das regiões intermediária e distal. Na região norte da bacia, foi observado a continuação das litofácies siliciclásticas associadas à um canal turbidítico. Nas proximidades do Alto de Cabo Frio, limite da bacia, observam-se frequentemente rochas vulcânicas descritas nos poços.

De forma similar a zona K60-50, a zona K60-80 evidencia uma contínua subida do nível do mar, ao final do Albiano Inferior. A base da zona está associada à litofácies associada à um afogamento da zona K60-50 e o topo, às quebras de padrão, identificadas nos perfis elétricos. Em toda a região proximal da bacia, ainda prevalece a extensa faixa de depósitos siliciclásticos. Após essa faixa, em poços na região proximal-intermediária, são encontradas litofácies carbonáticas, associadas à baixa energia. Bancos carbonáticos de alta energia se desenvolveram em alguns altos estruturais relativos proximais. Foi observado o predomínio das litofácies finas, siliciclásticas e/ou mistas nas áreas intermediárias e distais da bacia. Assim como na zona K60-50, também é muito frequente o aparecimento de rochas vulcânicas, nas regiões norte e extremo norte da bacia.

As litofácies predominantes na zona AlbSup-Ceno indicam que a bacia foi submetida a uma acentuada e contínua subida do nível do mar, o que, praticamente fez com que as litofácies carbonáticas desaparecessem de quase todos os poços analisados. Tanto a base quanto o topo da zona são marcados em quebras de padrão, observadas nos perfis elétricos. Na região

proximal, observa-se a presença da faixa siliciclástica desde a porção extremo sul até a porção norte, enquanto na região extremo norte, depositaram-se litofácies finas e lamosas evidenciando que a subida do nível do mar foi efetiva também nesta porção da bacia. Apenas nas regiões centro e norte da bacia, na porção proximal, são encontradas litofácies carbonáticas, associadas à baixa energia. Nas regiões intermediária e distal da bacia, esta zona é constituída predominantemente por litofácies siliciclásticas e mistas e raramente por litofácies carbonáticas de muito baixa energia. Novamente, é muito frequente o aparecimento de rochas ígneas nesta zona.

### 8.1.2 Grupos de litofácies

Após o zoneamento estratigráfico realizado nos poços foi efetuada uma análise na coluna litologia descrita e nos padrões de empilhamento dos perfis, principalmente os de raios gama e Vp, a fim de se identificar as litofácies ou grupos de litofácies que constituem as zonas estratigráficas. Inicialmente, foram identificados 33 grupos de litofácies, cujas características estão explicitadas no Anexo IV, Tabela 41 (parte 1), Tabela 42 (parte 2) e Tabela 43 (parte 3).

Com base na posição dentro do sistema deposicional, as 33 litofácies iniciais identificadas foram agrupadas em nove grandes grupos, distribuídos desde a região proximal até a região distal da bacia (Figura 28).

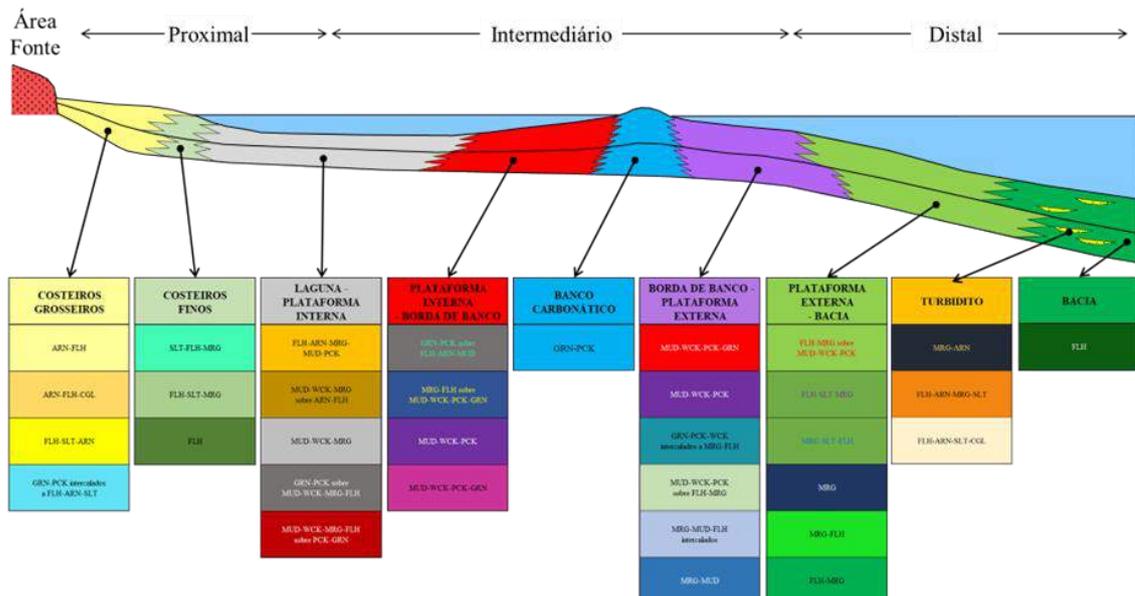


Figura 28 – Esquema ilustrando a distribuição e o agrupamento das litofácies descritas com base na posição dentro do modelo de sistema deposicional adotado. Fonte: o Autor.

Os grupos finais foram: (1) planície costeira, com deposição de sedimentos de granulometria grosseira, (2) planície costeira, com deposição de sedimentos de granulometria fina, (3) plataforma interna de baixa energia (laguna, planície de maré), (4) plataforma interna de baixa energia (borda interna de banco carbonático), (5) banco carbonático, (6) plataforma externa de baixa energia (borda externa de banco carbonático), (7) plataforma externa – bacia, (8) um depósito que se assemelha a um canal turbidítico e (9) bacia.

Em geral, as litofácies identificadas nas zonas estratigráficas do Albiano Inferior, K60-20, K60-50 e K60-80 e na zona estratigráfica AlbSup-Ceno, representam a variação lateral, passando de um sistema transicional proximal, na borda da bacia, para um sistema marinho intermediário, com desenvolvimento de plataforma carbonática em rampa, até um sistema marinho profundo na área distal.

Algumas das litofácies individualizadas nos poços aparentam uma complexa variação litológica, resultado da interdigitação de depósitos transicionais e plataformais, em diversas áreas da bacia.

### **8.1.3 Análise das seções estratigráficas e seções sísmicas**

A Figura 29 ilustra a posição geográfica das seções estratigráficas, das seções sísmicas interpretadas e dos poços que se distribuem ao longo de cada seção analisada. A projeção ortogonal dos poços às linhas sísmicas estão explicitadas nas figuras relativas a interpretação de cada seção.

A análise de seções estrategicamente definidas ao longo da bacia permitiu um entendimento do comportamento das zonas estratigráficas de interesse, de idades Albiano e Cenomaniano. Fatores como posição geográfica da seção na bacia, continuidade lateral, espessura, litotipos presentes e soterramento das zonas estratigráficas exercem algum tipo de influência na distribuição das velocidades compressoriais das camadas, que é o principal objetivo de estudo desta pesquisa.

As associações de litofácies descritas aparentam sofrer forte influência da batimetria da bacia, no momento de suas deposições. A topografia da bacia, no início do Albiano Inferior foi moldada, principalmente, pela tectônica da fase rifte, a qual influenciou diretamente na deposição da sequência K60-20. Foi assumido que tenha ocorrido pouca atividade tectônica na bacia, desde a fase rifte até o final da deposição dos evaporitos salinos, sendo a fisiografia da bacia correlacionável ao topo do embasamento, (Figura 30), Com a evolução da deposição na

bacia, a sobrecarga sedimentar imposta aos evaporitos salinos fez com que a movimentação do sal causasse deformações as rochas sobrejacentes e assim, exercesse forte controle na sedimentação, principalmente a carbonática, das seqüências K60-50, K60-80.

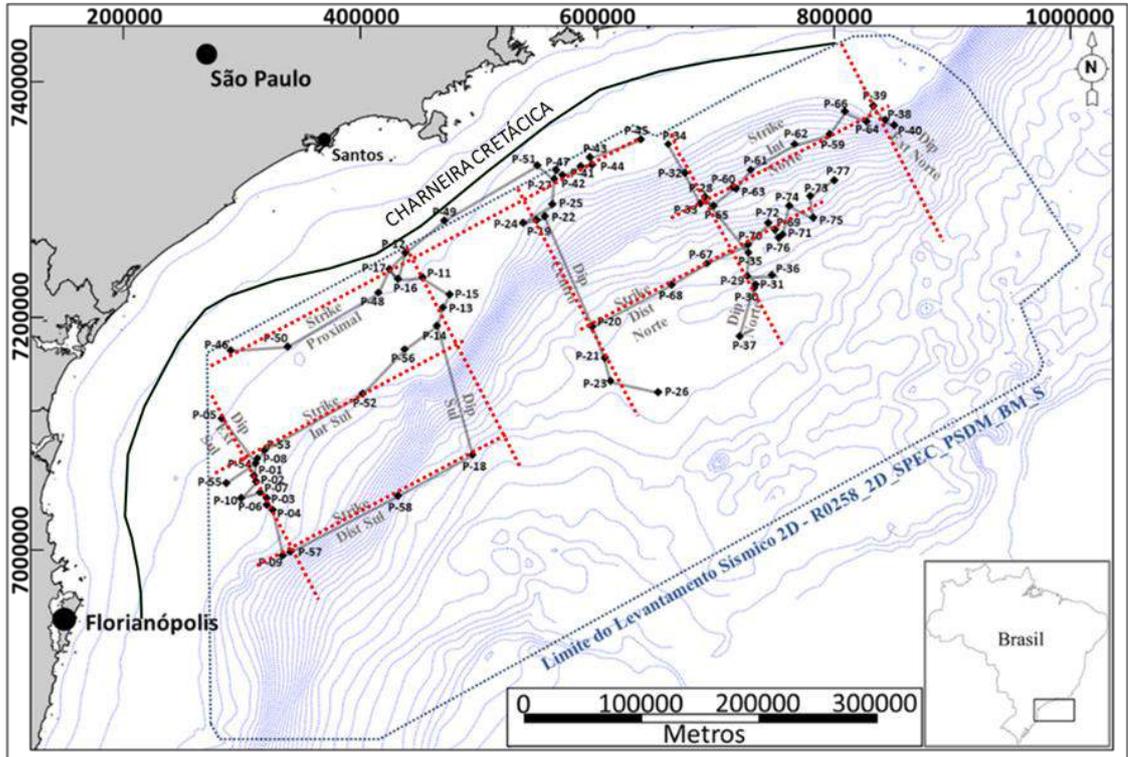


Figura 29 - Localização das 10 seções estratigráficas analisadas (em cinza), das 10 seções sísmicas interpretadas (em vermelho) e dos poços que as compõem. Fonte: o Autor.

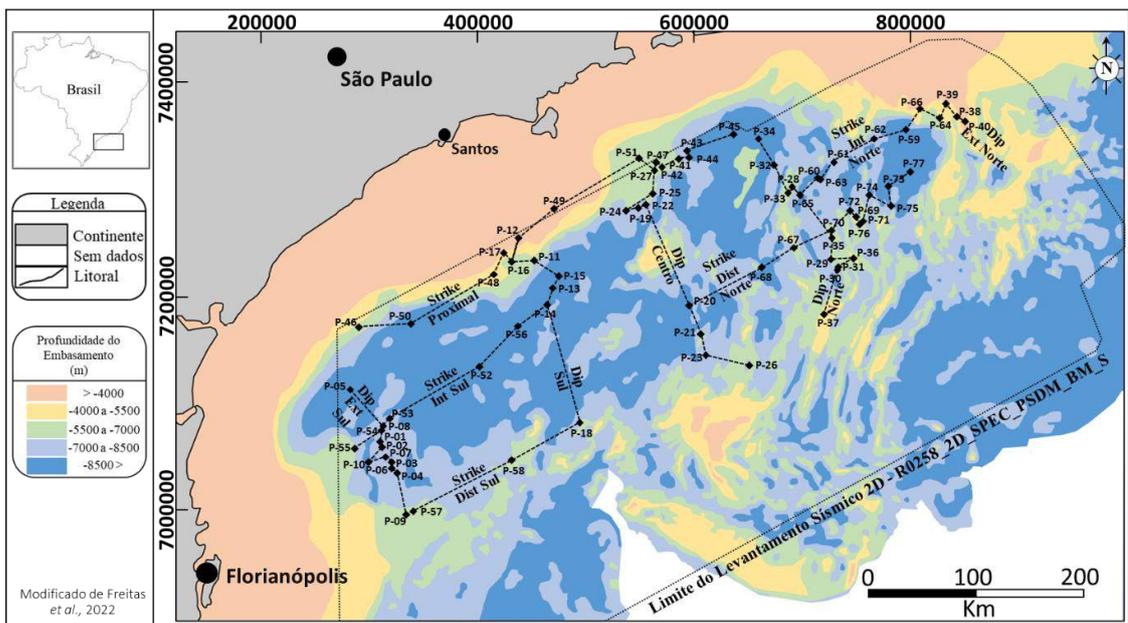


Figura 30 - Mapa do topo do embasamento econômico da Bacia de Santos, com a posição das seções estratigráficas entre poços interpretadas. Fonte: Freitas et al. (2022), modificado pelo Autor.

### 8.1.3.1 Seção *strike* proximal

A seção estratigráfica *strike* proximal possui aproximadamente 450 Km de extensão e conecta por projeção 15 poços perfurados em águas rasas da Bacia de Santos (Figura 31). Nem todos as zonas de interesse foram perfuradas, ficando alguns poços “pendurados” em algumas zonas.

A Figura 30 ilustra a localização da seção em relação ao topo do embasamento da bacia. A seção se inicia com poços perfurados em um baixo estrutural do embasamento, a SW, passando por um alto estrutural, em uma região defronte à cidade Santos até atingir outro baixo estrutural, a NE.

A seção em questão está próxima da borda da bacia, recebendo um grande aporte de siliciclásticos, que formaram depósitos do tipo leques aluviais, fluviais, lagunares e marinhos restritos. A análise das litofácies e sua posição em relação ao topo do embasamento, permitiu a divisão da seção em dois setores: SW, do poço P-46 ao P-51, NE, do poço P-51 ao P-45. No setor SW, se observa a predominância de depósitos siliciclásticos, a partir da zona K60-50, que podem ser resultado de progradações sobre a plataforma instalada na zona K60-20. Já no setor NE, evidencia-se a presença de depósitos francamente marinhos, com desenvolvimento de plataforma carbonática, em região estruturalmente mais elevada, indicando que, possivelmente, a subida do nível do mar durante o Albiano foi mais incisiva nesta porção da bacia.

A Figura 32 corresponde ao resumo das litofácies inferidas nos poços, a partir do zoneamento e da análise litológica elaborada em de cada poço da seção, exemplificada nos três poços apresentados.

Os poços que atravessaram a zona K60-20 constataram uma isópaca que varia entre 60 e 200 m. O limite inferior da zona está no topo dos evaporitos salinos e o superior, nem sempre fácil de ser identificado, corresponde a uma mudança no sistema, refletida nos perfis de poços que pode ser uma progradação de sedimentos costeiros sobre transicionais, como no setor SW, uma superfície de inundação e/ou, mudanças sutis nos perfis. As litofácies identificadas nos poços ilustram uma região, provavelmente subparalela a linha de costa, com depósitos transicionais, flúvio-deltáicos e lagunares variando lateralmente a depósitos plataformais carbonáticos de baixa energia, depósitos plataformais siliciclásticos de baixa energia e, mais restritamente bancos carbonáticos de alta energia.

A zona K60-50 apresenta isópacas variando de 250 a 850 m, com adelgaçamento em direção ao alto estrutural, na região central da seção. Ambos os limites inferior e superior aparentam corresponder a superfícies de inundações, sugeridos pela instalação de depósitos

francamente carbonáticos sobre progradações siliciclásticas e sedimentação siliciclástica de finos sobre sedimentos carbonáticos plataformais. No baixo estrutural a SW observa-se a predominância de litofácies siliciclásticas associadas à progradações, gradando lateralmente a litofácies lagunares e litofácies plataformais carbonáticas de baixa energia e, até mesmo, bancos carbonáticos, no alto estrutural próximo a Santos. No restante dos poços da seção, as litofácies plataformais carbonáticas de baixa energia intercaladas a fácies siliciclásticas, também de baixa energia, são predominantes.

A zona K60-80 apresenta isópaca variando de 100 a 650 m, e seus limites tendem a ser superfícies inundações. Observando suas litofácies, e sua relação com as da zona K60-50, temos uma evidência de uma subida do nível do mar, com migração de litofácies lagunares sobre as progradações costeiras proximais, litofácies plataformais carbonáticas sobre litofácies lagunares e costeiras e agradação dos bancos carbonáticos. Interessante que, mesmo com a subida do nível do mar, as litofácies siliciclásticas de plataforma externa e bacia não sugerem um avanço sobre as litofácies plataformais carbonáticas.

Com isópaca variando de 170 a 620 m, a zona AlbSup-Ceno representa outra subida relativa do nível do mar. Na maioria dos poços, a base da sequência é identificada como uma superfície de inundação, com deposição de sedimentos siliciclásticos finos sobre sedimentos plataformais carbonáticos e transicionais lagunares. Seu topo corresponde a um máximo do perfil de raios gama e apresenta uma “quebra” no perfil de Vp, a partir do qual o estilo destes perfis muda. No geral, as litofácies encontradas são siliciclásticas finas. Observa-se uma faixa subparalela a linha de costa, que vai do extremo sul até o centro da bacia com sedimentação predominantemente siliciclástica indicando um provável contínuo aporte sedimentar na porção do extremo sul até o centro da bacia,

A seção sísmica *strike* proximal (Figura 33) reflete exatamente a posição da seção estratigráfica em relação ao embasamento, baixos estruturais em suas extremidades e um alto estrutural central. Nenhum poço está posicionado sobre a seção sísmica, sendo a variação da projeção ortogonal dos poços variando de centenas de metros até cerca de 20 Km. As zonas estratigráficas de interesse se apresentam contínuas, com pouca variação de espessura, sendo seccionadas por falhas normais, normalmente de pequeno rejeito, que geram uma série de *horsts* e *grabens*. O sal é, relativamente, pouco espesso, normalmente disposto em camada mais tabular, com exceção de sua extremidade NE, quando algumas pequenas almofadas começam a serem identificadas. Visualmente, não uma grande diferenciação de sismofácies ao longo da seção, não sendo possível atribuir uma sismofácies característica a uma litofácies sedimentar descrita.

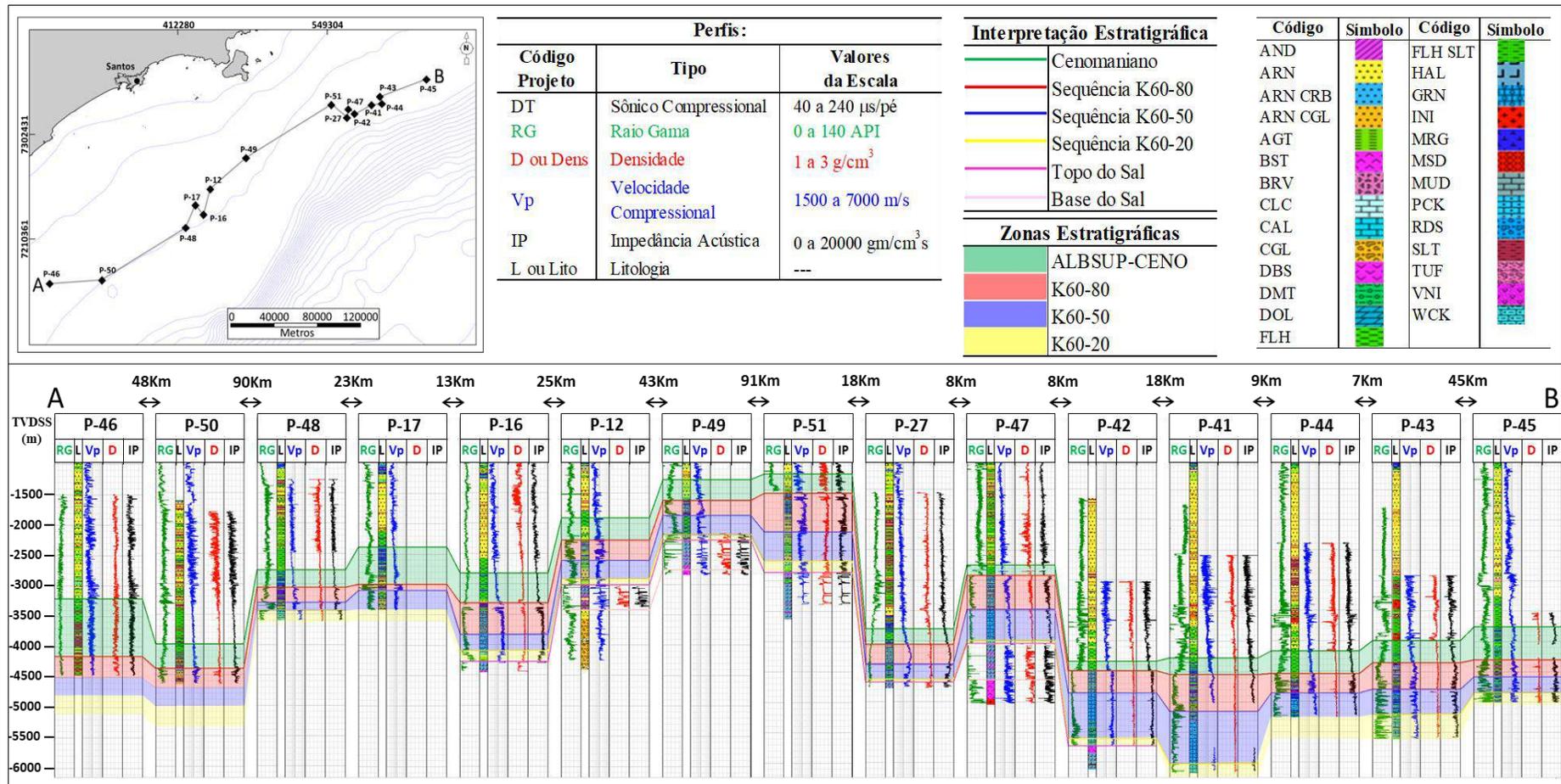


Figura 31 - Seção estratigráfica *strike* proximal, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		STRIKE PROXIMAL														
Poço		P-46	P-50	P-48	P-17	P-16	P-12	P-49	P-51	P-27	P-47	P-42	P-41	P-44	P-43	P-45
Zona																
AlbSup_Ceno		COSTEIROS GROSSEIROS	COSTEIROS GROSSEIROS	COSTEIROS FINOS	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	COSTEIROS GROSSEIROS	COSTEIROS GROSSEIROS	COSTEIROS GROSSEIROS	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	COSTEIROS FINOS	COSTEIROS FINOS	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	COSTEIROS FINOS	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-80		COSTEIROS FINOS	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	COSTEIROS GROSSEIROS	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BANCO CARBONÁTICO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA
K60-50		---	---	COSTEIROS GROSSEIROS	COSTEIROS FINOS	PLATAFORMA EXTERNA BORDA DE BANCO	COSTEIROS FINOS	COSTEIROS FINOS	COSTEIROS GROSSEIROS	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA BORDA DE BANCO	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-20		---	---	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	---	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BANCO CARBONÁTICO	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	BANCO CARBONÁTICO	---	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO

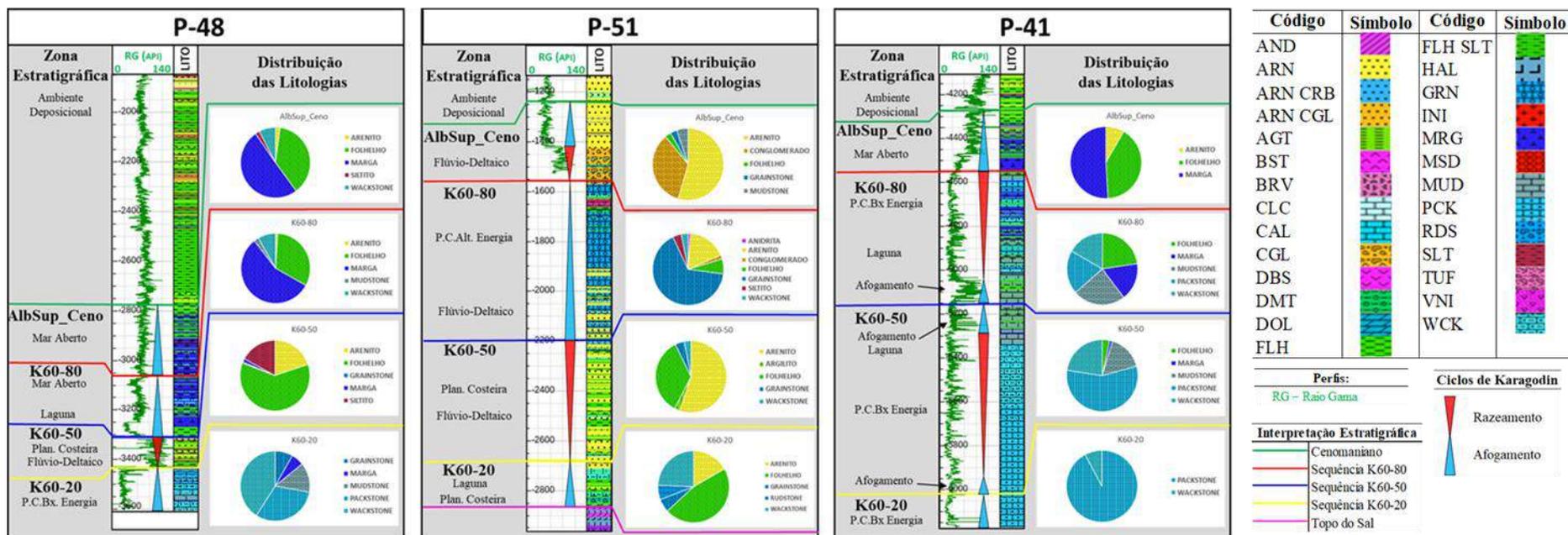


Figura 32 - Litofácies descritas na seção estratigráfica strike proximal, a partir do zoneamento, análise litológica e inferência de ambiente em três poços analisados. Fonte: o Autor.

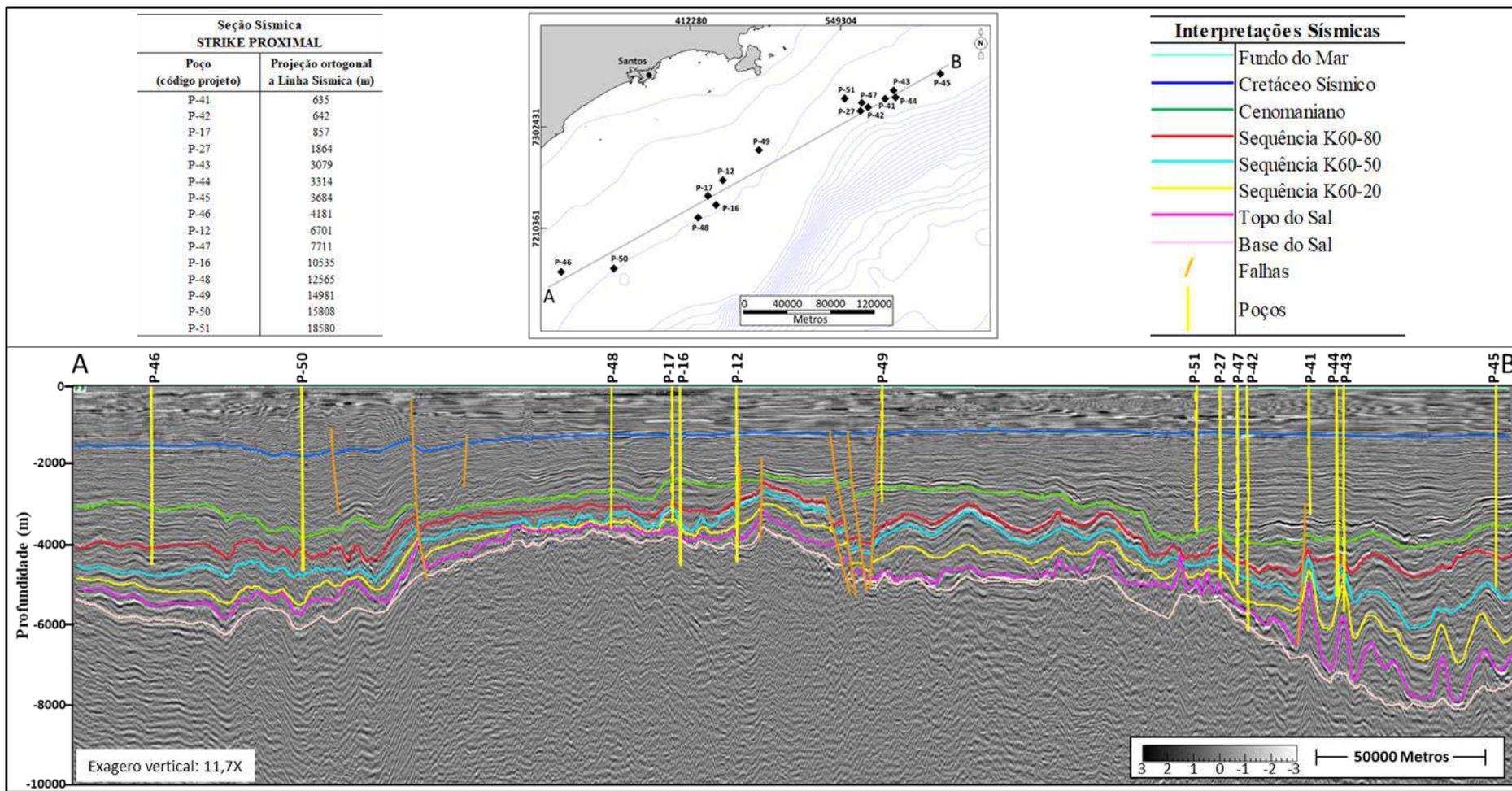


Figura 33 - Seção sísmica *strike* proximal contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *strike* proximal. Fonte: o Autor.

### 8.1.3.2 Seção *strike* intermediária sul

A seção estratigráfica *strike* intermediária sul possui aproximadamente 225 Km de extensão, passando por sete poços perfurados em lâmina d'água similar, cuja extremidade SW está no extremo sul e a extremidade NE na região central da Bacia de Santos (Figura 34).

Nenhum poço atingiu a zona estratigráfica K60-20 e, apenas a zona AlbSup-Ceno foi amostrada por todos os poços.

A seção inicia com poços perfurados em região estruturalmente mais alta, conhecida como Alto de Florianópolis, a SW da bacia, seguindo por um baixo estrutural até a extremidade NE, como visualizado na Figura 30.

Se observa o desenvolvimento de uma plataforma carbonática em quase todos os poços, associada às regiões estruturalmente mais elevadas. A seção sísmica (Figura 34) evidencia a ocorrência de altos estruturais tanto do embasamento quanto altos proporcionados pela halocinese, uma vez que do meio da seção até a extremidade NE, entramos na região de sal mais espesso (Figura 3).

O zoneamento e a análise litológica elaborada em de cada poço da seção, exemplificada nos três poços apresentados, culminou na inferência das respectivas litofácies dos poços, que pode ser observada na Figura 35.

Nada pode ser descrito sobre a zona K60-20, pois nenhum poço a atingiu.

Apenas cinco poços foram perfurados até a zona K60-50 e nenhum atingiu mais de 200 m de isópaca na mesma. Nada pode ser afirmado quanto ao limite inferior da sequência, mas o limite superior tende a estar associado a um sutil afogamento registrado na base da zona K60-80. A menos do poço P-55, localizado na extremidade SW, que apresenta litofácies lagunares, nos demais poços se observam litofácies carbonáticas de alta e baixa energia, associadas à uma plataforma com bancos.

Assim como a sequência subjacente, apenas cinco poços atravessaram a zona K60-80, registrando isópacas que variam de 160 a 640 m. Seus limites de sequências são, claramente, superfícies de inundações marinhas que encerram ciclos de raseamento. O empilhamento das litofácies sugere uma subida inicial do nível do mar, seguida de raseamento, evidenciada por litofácies carbonáticas de águas mais profundas, sobrepostas por litofácies de carbonáticas de águas rasas e, em áreas mais proximais, litofácies siliciclásticas sobrepostas por litofácies lagunares.

Com isópaca variando de 160 a 750 m, a zona AlbSup-Ceno representa nova subida relativa do nível do mar, finalizando a sedimentação carbonática plataformal das zonas K60-50

e K60-80. A base da sequência é associada à uma superfície de inundação, com deposição de sedimentos siliciclásticos finos sobre sedimentos plataformais carbonáticos e sobre sedimentos lagunares. O topo da sequência é marcado em um máximo do perfil de raios gama e, em uma sutil “quebra” no perfil de Vp, como identificado em outros poços de outras seções estratigráficas. No geral, as litofácies encontradas são siliciclásticas finas de mar aberto, entretanto o poço mais proximal apresenta litofácies siliciclásticas mais sílticas, o que pode ser relativo à sedimentação proximal siliciclástica fina, e não marinha de mar aberto.

A seção sísmica *strike* intermediária sul (Figura 36) ilustra bem a estruturação do embasamento, com um alto estrutural a SE e um baixo estrutural no sentido da extremidade NW, refletindo exatamente a posição das zonas de interesse na seção estratigráfica. A projeção ortogonal dos poços a seção sísmica, varia de centenas de metros a mais de 20 Km. Nesta seção, o sal pode ser dividido em duas regiões distintas: uma relativamente pouco espessa, mais tabular, com algumas pequenas almofadas, em direção a extremidade SW da seção, e outra muito espessa com desenvolvimento de grandes muralhas e diápiros, do centro da seção para a extremidade NE. Associada à região de sal menos estruturado, temos as zonas estratigráficas do Albiano-Cenomaniano e com geometria mais contínua, e com pouca variação de espessura, sendo compartimentadas por falhas normais de pequeno rejeito. Na região das muralhas, onde a isópaca do sal aumenta consideravelmente, se observa um afinamento das zonas estratigráficas localizadas no ápice das muralhas, e na região de diápiros começam a aparecer minibacias isoladas e deformadas pela movimentação do sal. A região a SW, onde foram atribuídas litofácies de plataforma carbonática, foram identificados refletores plano paralelos de mais alta amplitude (extremo SW da seção). Entretanto, estas sismofácies, atribuídas a plataforma carbonática, ocorrem apenas nesta região, sendo a relação com o atributo, inconclusivo e não utilizado em outras seções.

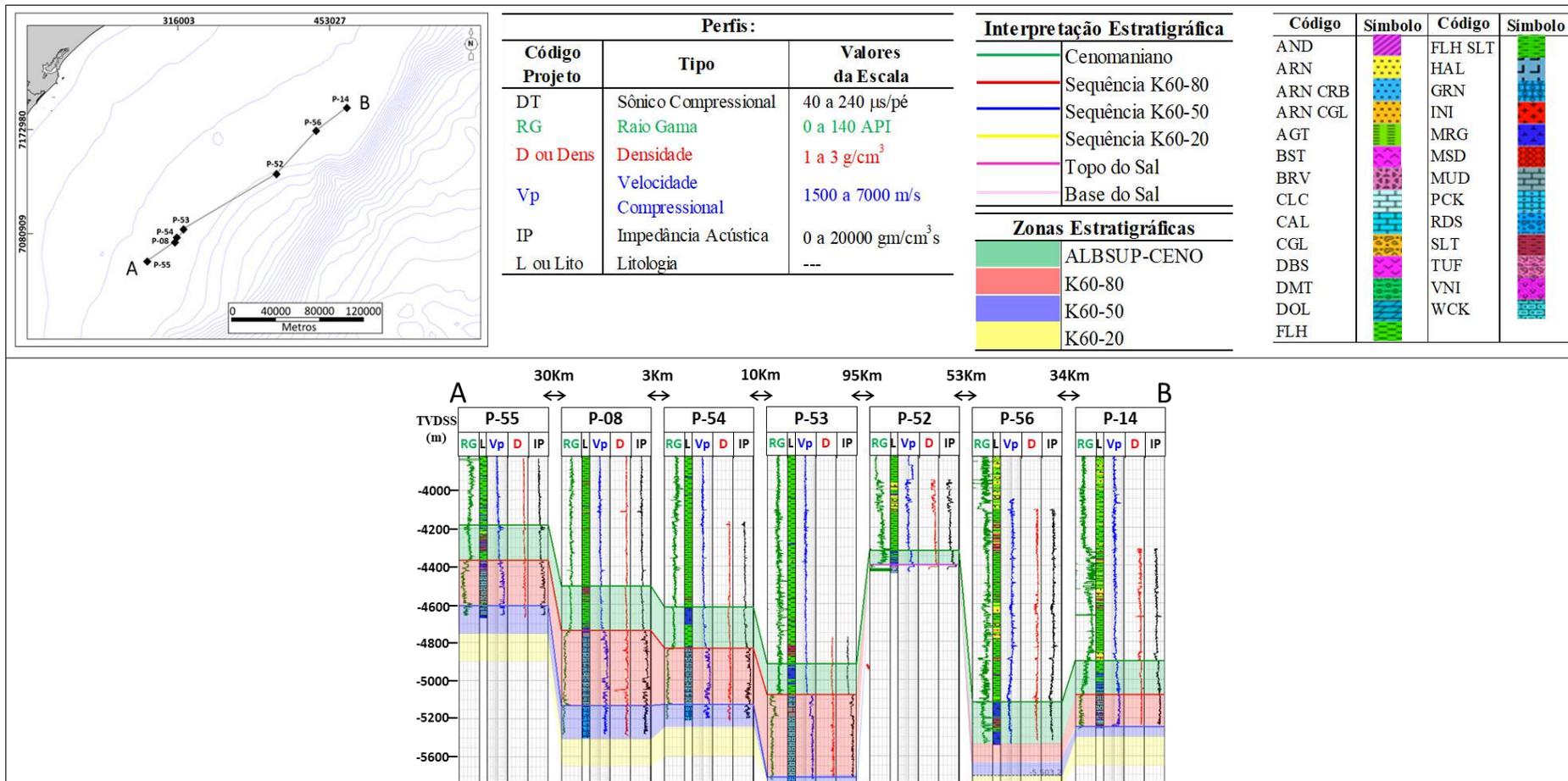
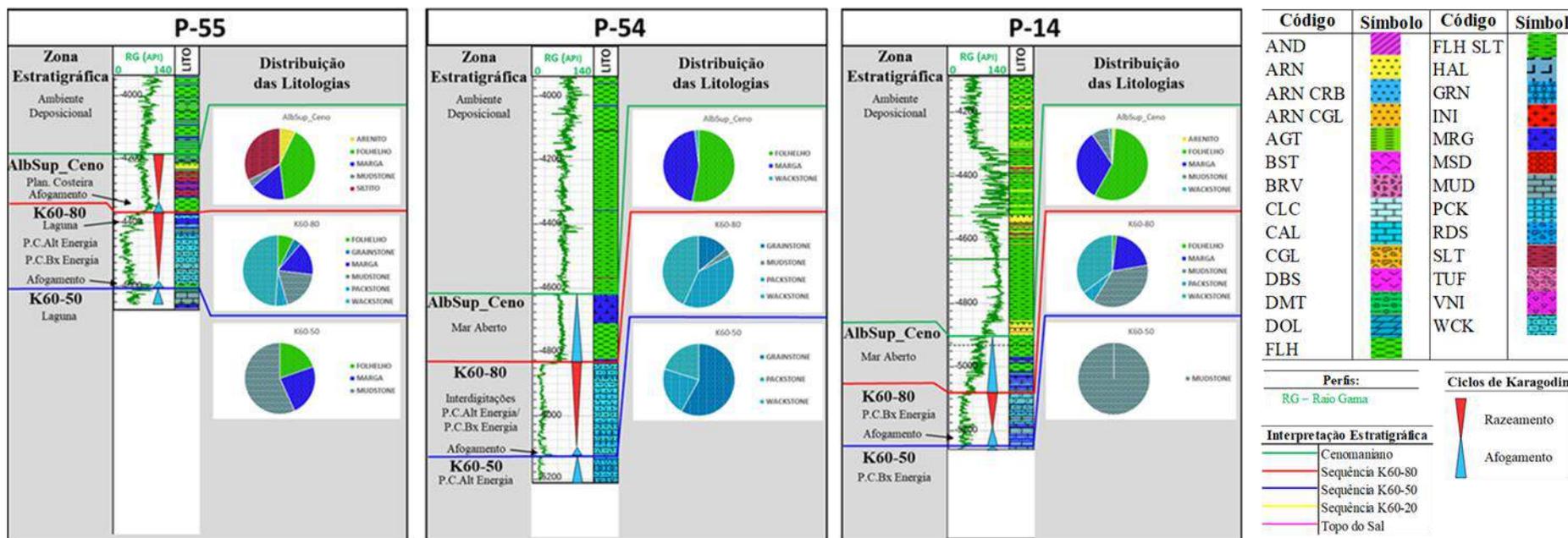


Figura 34 - Seção estratigráfica *strike* intermediária sul, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		STRIKE INTERMEDIÁRIA SUL						
Poço		P-55	P-08	P-54	P-53	P-52	P-56	P-14
Zona								
AlbSup_Ceno		COSTEIRAS FINOS	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-80		PLATAFORMA EXTERNA - BORDA DE BANCO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	---	---	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA
K60-50		LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	---	---	PLATAFORMA INTERNA - BORDA DE BANCO
K60-20		---	---	---	---	---	---	---



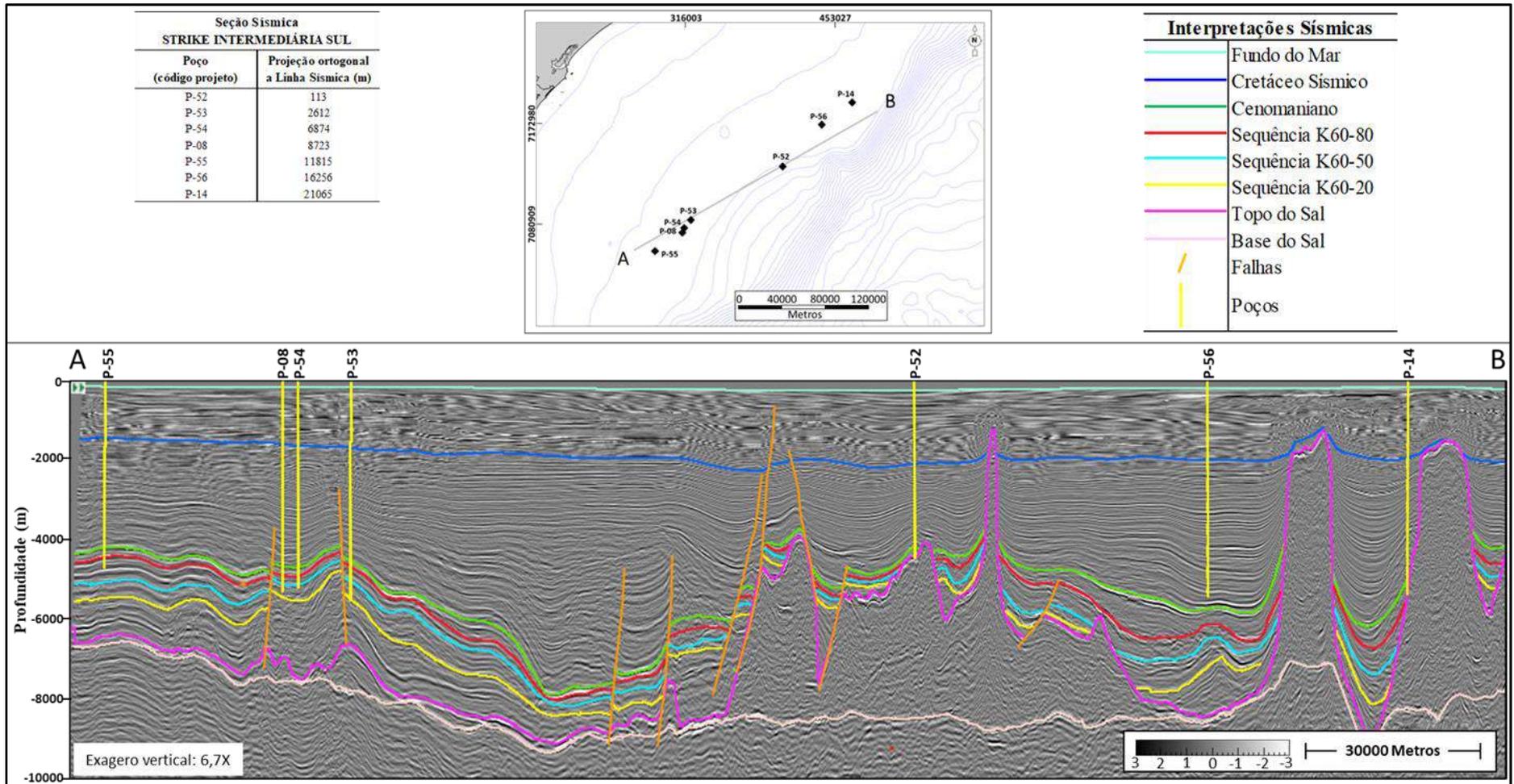


Figura 36 - Seção sísmica *strike* intermediária sul contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *strike* intermediária sul. Fonte: o Autor.

### 8.1.3.3 Seção *strike* intermediária norte

A seção estratigráfica *strike* intermediária norte passa por 11 poços, perfurados em lâmina d'água variável, e tem mais de 190 Km de extensão, indo do centro ao extremo norte da Bacia de Santos (Figura 37).

Seis poços atravessaram todas as zonas e apenas um ficou pendurado na zona AlbSup-Ceno.

Praticamente todos os poços se encontram em regiões de altos estruturais não tão proeminentes do embasamento, com exceção da extremidade NE, que se localiza sobre o importante Alto de Cabo Frio (Figura 30). Em sua grande maioria os poços desta seção exibem litofácies predominantemente siliciclásticas, o que pode ter sido uma combinação de fatores, como, grande aporte sedimentar continental e posição estrutural não tão alta, fazendo com que carbonatos não se desenvolvessem.

A Figura 38 representa o sumário das litofácies inferidas nos poços, a partir do zoneamento e da análise litológica.

Com isópaca variando de 27 a 230 m, a zona K60-20 foi atravessada/atingida por seis poços. A passagem das rochas evaporíticas para rochas carbonáticas ou siliciclásticas marca o limite inferior da zona, enquanto o final de um ciclo de raseamento do sistema corresponde ao limite superior. Apenas em dois poços foram identificadas litofácies carbonáticas de baixa energia. No restante dos poços, litofácies siliciclásticas predominam, com destaque para o eixo de um grande conduto de sedimentos turbidíticos, desenvolvido próximo a porção central da seção.

A zona K60-50 apresenta grande variação de isópacas, entre 40 e 880 m, com destaque para a continuação da expressão do depósito siliciclástico, iniciado na zona anterior, na porção norte. Seu limite inferior corresponde a uma superfície de inundação, e o superior, em alguns casos, corresponde ao final de um novo ciclo de raseamento e, em outros, ao final de um ciclo de afogamento da bacia, durante essa mesma época de deposição. No geral a sedimentação dominante é a de mar aberto, com litofácies turbidíticas na porção SW, denotando um deslocamento desse sistema para essa direção, variando lateralmente a litofácies finas e, na região do Alto de Cabo Frio, litofácies carbonáticas de alta e baixa energia intercaladas, evidenciando a relação sedimentos carbonatos e regiões altas.

A isópaca da zona, K60-80 é, consideravelmente, menor que a da zona anterior, indo de cerca de 70 a 240 m, acunhando no sentido da extremidade NE, sobre o Alto de Cabo Frio. Um afogamento generalizado da sequência anterior caracteriza esta sequência como um todo. Em

geral, suas litofácies refletem o afogamento do sistema, com deposição e ou deslocamento de sedimentos finos de mar profundo sobre a sequência anterior, até mesmo na região do Alto de Cabo Frio. Sedimentos siliciclásticos turbidíticos persistem, indicando uma certa potência desse sistema.

A zona AlbSup-Ceno apresenta isópaca variando de 40 a 450 m, com base da sequência marcada em afogamento da zona K60-50 e, topo, em quebras significativas dos perfis de raio gama e de Vp, que indica mudanças no sistema. Assim como na zona anterior, as litofácies siliciclásticas, finas, de mar aberto, descritas nos poços também refletem a contínua subida do nível do mar. Apenas no poço mais próximo da extremidade SW, as litofácies turbidíticas ainda persistem. Na extremidade NE, já nas cercanias do Alto de Cabo Frio, é descrita uma presença marcante de rochas ígneas vulcânicas, o que dificulta muito a marcação de topos e bases das sequências.

A seção sísmica *strike* intermediária norte (Figura 39) está, quase que na sua totalidade, posicionada sobre um platô não elevado do embasamento. A região próxima a extremidade NE, onde os horizontes interpretados arqueiam para cima corresponde ao Alto de Cabo Frio. A projeção ortogonal dos poços na seção varia de 0,8 a 8,8 Km. Em toda esta seção, temos uma camada de evaporitos salinos relativamente delgada, ainda na zona de extensão (Figura 3) com formação de pequenas almofadas e pequenos diápiros, e cuja espessura diminui em direção ao Alto de Cabo Frio. Nesta seção, na qual o sal é relativamente “bem-comportado”, os refletores das zonas estratigráficas de interesse são, normalmente, contínuos, plano paralelos e sem contrastes de impedância acústica significativos evidenciando, provavelmente, alternância de litofácies similares. As poucas falhas normais, de pequeno rejeito, interpretadas, evidenciam uma tectônica extensional. Entre os poços P-65 e P-60, se observa a Falha de Cabo Frio, e uma seção de aproximadamente 12 Km com ausência de estratos Albianos-Cenomanianos, que está relacionada ao *Gap* do Albiano. Nesta seção não foram observadas minibacias pois estas estão relacionadas a zonas com sal mais espesso, formando diápiros e grandes muralhas. Contrastes de impedância acústica mais significativos começam a aparecer a partir da zona AlbSup-Ceno para cima, e estão associados a rochas ígneas vulcânicas.

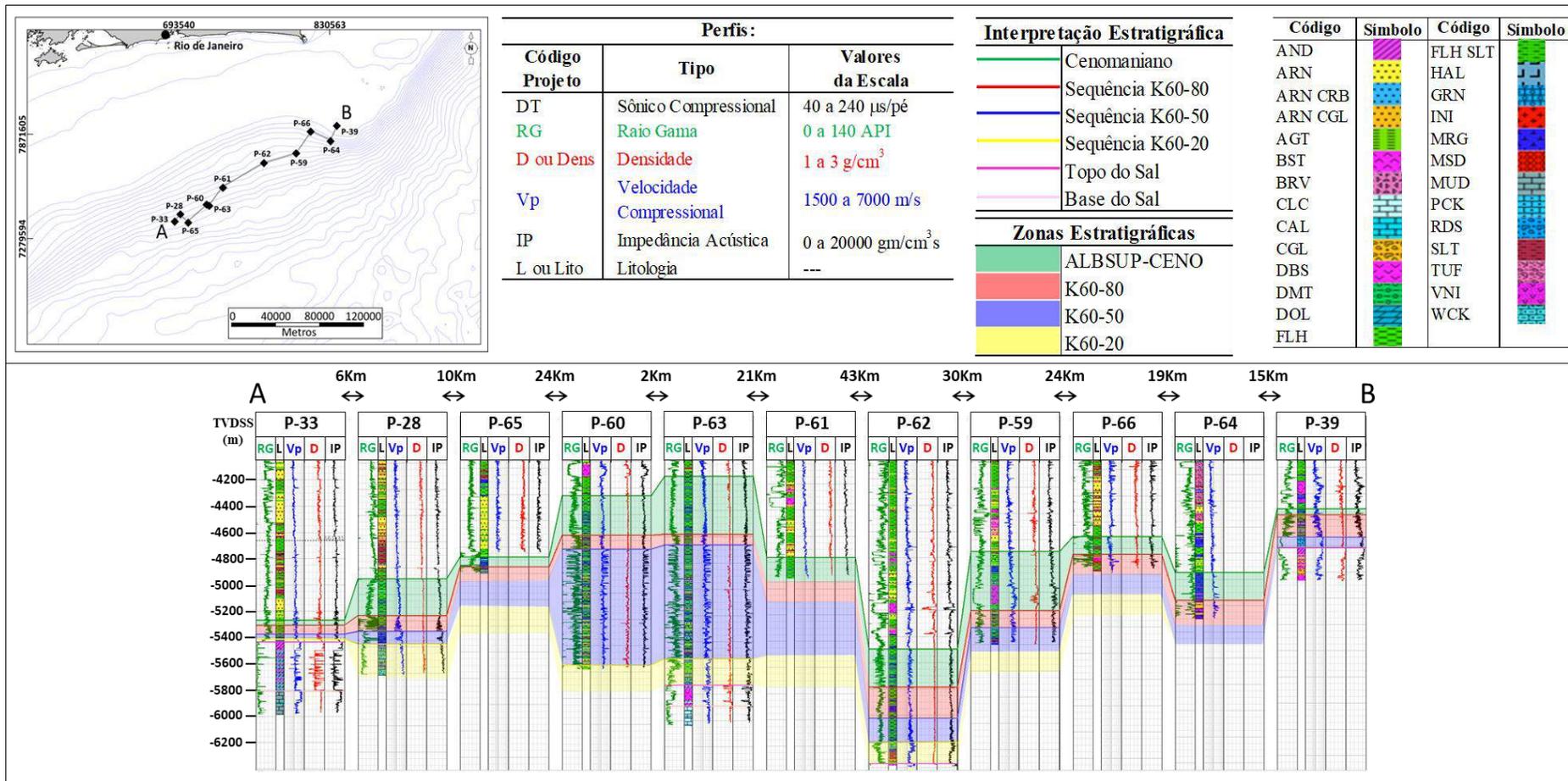
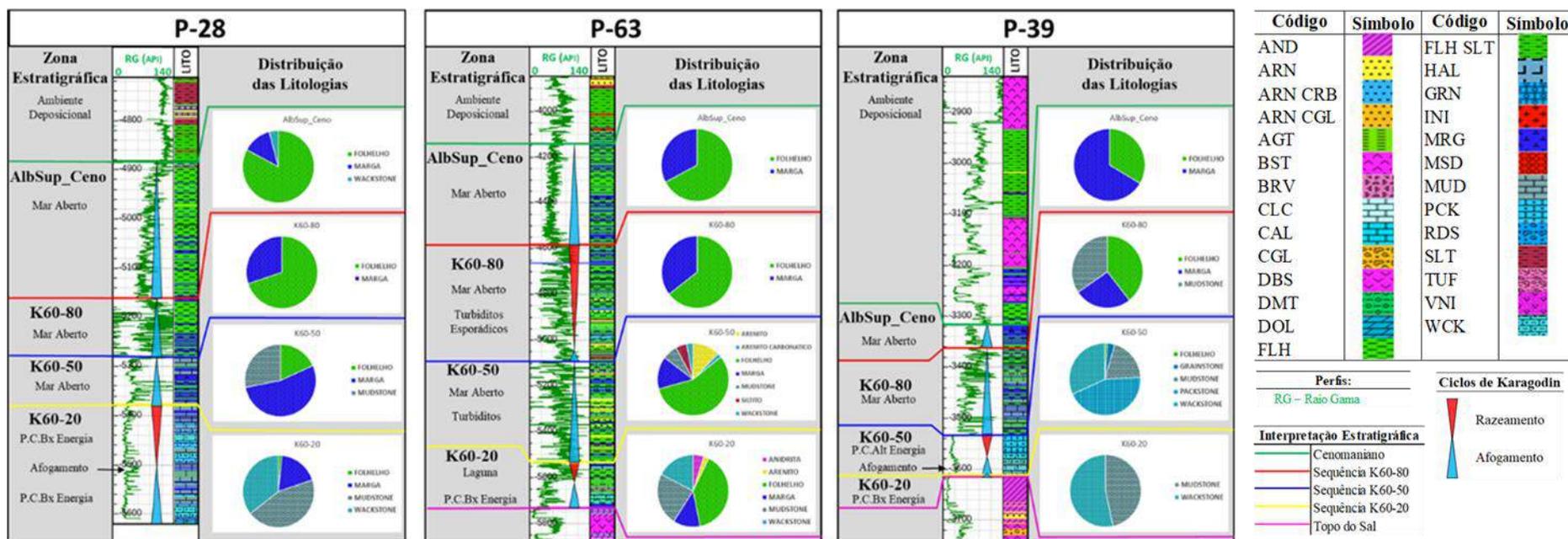


Figura 37 - Seção estratigráfica *strike* intermediária norte, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		STRIKE INTERMEDIÁRIA NORTE										
Poço		P-33	P-28	P-65	P-60	P-63	P-61	P-62	P-59	P-66	P-64	P-39
Zona												
AlbSup_Ceno		TURBIDITO	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	TURBIDITO	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA			
K60-80		TURBIDITO	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA				
K60-50		TURBIDITO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA		TURBIDITO	TURBIDITO		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	---	---	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO
K60-20		PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO		TURBIDITO	TURBIDITO		TURBIDITO	---	---	---	COSTEIROS FINOS



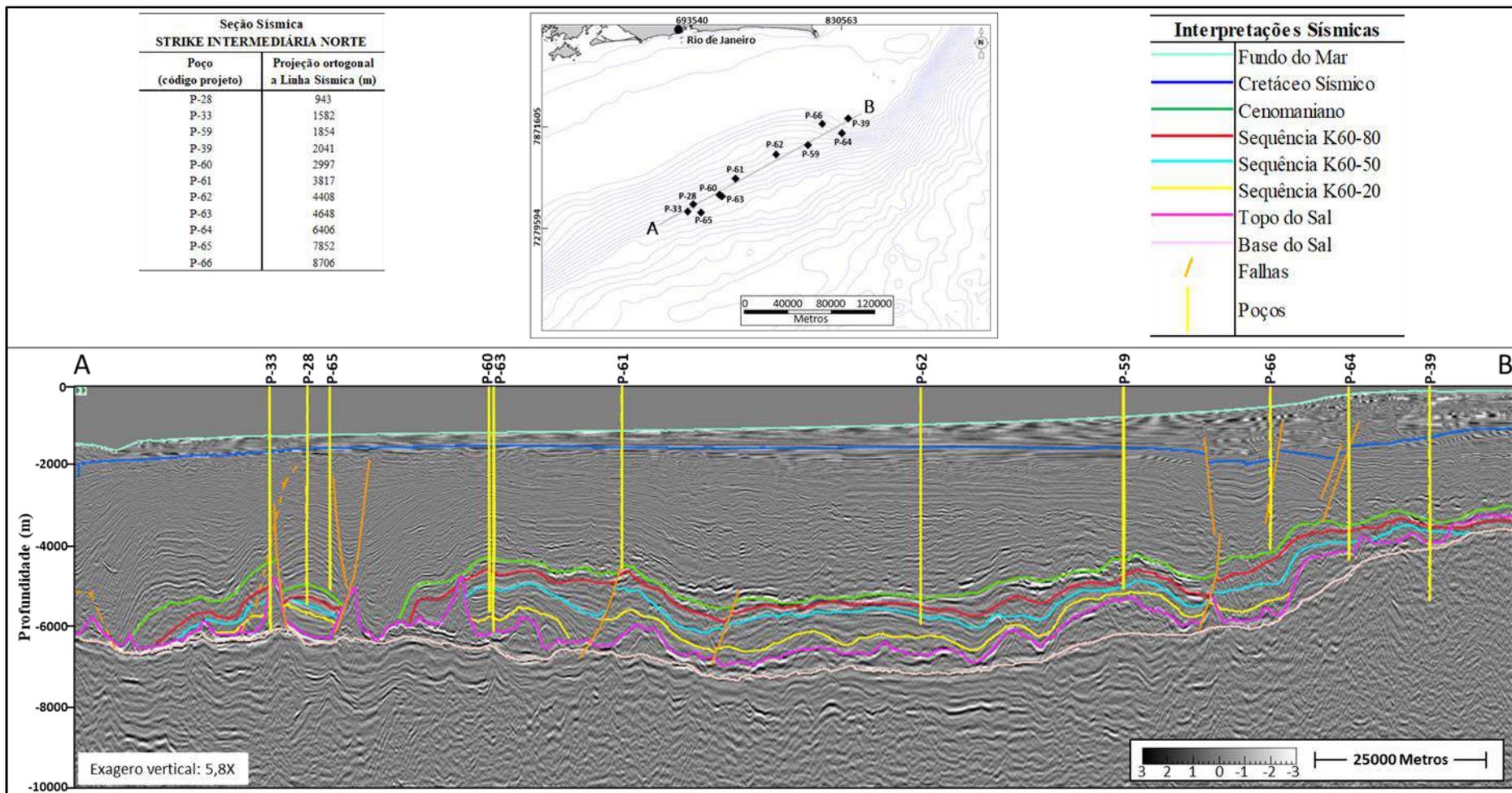


Figura 39 - Seção sísmica *strike* intermediária norte contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *strike* intermediária norte. Fonte: o Autor.

#### 8.1.3.4 Seção *strike* distal sul

A seção estratigráfica *strike* distal sul possui aproximadamente 180 Km de extensão e conecta quatro poços perfurados em águas profundas, indo do extremo sul ao centro da Bacia de Santos (Figura 40).

Três poços atravessaram todas as zonas, e um poço atingiu somente a zona AlbSup-Ceno. Todos os poços se encontram em regiões mais elevadas do embasamento, entretanto, a região a NE (ponto de referência B) encontra-se relativamente mais alta (Figura 30).

As litofácies descritas nos poços, a partir do zoneamento e da análise litológica são apresentadas na Figura 41.

A isópaca da zona K60-20 é relativamente pequena, variando de 35 a 70 m, provavelmente pelo fato de os poços estarem em altos estruturais. O limite inferior da zona corresponde à passagem das rochas evaporíticas para as rochas carbonáticas e o limite superior corresponde ao topo de um ciclo de raseamento, acima do qual se depositaram sedimentos de granulação fina. Embora já na região distal da bacia, as litofácies da zona K60-20 identificadas nos poços são de bancos carbonáticos (alta energia), no extremo SW (ponto de referência A) variando lateralmente para depósitos de plataforma carbonática de baixa energia intercalados a depósitos marinhos de baixa energia até a depósitos marinhos de baixa energia, no extremo NE da seção (ponto de referência B).

A zona K60-50 possui isópacas variando de 40 a 80 m, que adelgaçam no sentido da porção NE da seção. Seu limite inferior corresponde a uma superfície de inundação sobre a sequência anterior e o superior, a base de nova inundação representada pela sequência sobrejacente. Esta é a última zona da região distal sul que ainda apresenta litofácies carbonáticas, indicando a subida progressiva do nível do mar à medida que se aproxima do Albiano Superior. Indo de SW para NE, se observa a variação lateral de litofácies marinhas de baixa energia até litofácies intercaladas de plataforma carbonática de baixa energia e depósitos marinhos de baixa energia.

A zona, K60-80 apresenta isópaca variando de 40 a 250 m, também acunhando no sentido da porção NE. Um novo afogamento marca a base desta sequência, já seu topo é marcado no aumento da argilosidade do sistema, provavelmente refletindo uma nova subida do nível do mar. Suas litofácies refletem depósitos de mar profundo.

A zona AlbSup-Ceno apresenta isópaca variando de 100 a 440 m, também adelgaçando no sentido do alto posicionado na extremidade NE da seção. A base da sequência é inferida em um sutil aumento no perfil de raio gama e o topo, também em quebras dos perfis de raio gama

e de Vp. Também como na zona anterior, suas litofácies refletem a subida do nível do mar, com depósitos de mar profundo. Na coluna litológica do poço P-57 foi identificado arenito, o que, aparentemente, não está claro nos perfis. Como não foram acessadas as descrições de amostras calha, pode ser um equívoco na litologia ou, talvez um canal turbidítico. Nos dois poços a NE da seção, são observadas a presença de evaporitos salinos sobre as rochas albianas, indicando a possível entrada nos domínios translacional e/ou compressional, quando grandes espessuras de sal são observadas, e onde a mobilidade do sal pode ser verificada na presença de depósitos alóctones, mais antigos, sobre os mais recentes. É interessante mencionar a presença de depósitos evaporíticos, aptianos, acima da sequência AlbSup-Ceno, no poço P-18. Essa inversão estratigráfica ocorre, muito provavelmente, devido a mobilidade do sal, imposta pela halocinese, que cria esse depósito alóctone sobre as rochas Albo-Cenomanianas.

A seção sísmica *strike* distal sul (Figura 42) está posicionada sobre um alto estrutural do embasamento. Sua extremidade SW repousa sobre o Alto de Florianópolis, e a extremidade NE, sobre um alto relativo na região distal da bacia. Os poços possuem projeção ortogonal variando entre 1,5 e 3 Km. Na região do Alto de Florianópolis, o sal é relativamente delgado, formando pequenas almofadas, passando por um domínio de diápiros bem espessos, no centro da seção, até a região de grandes muralhas, a NE da seção. Na região de sal fino, onde se desenvolveu a plataforma carbonática, os refletores das camadas Albianas-Cenomanianas são contínuos, plano paralelos e com contrastes de impedância acústica bem evidenciados, ilustrando alternância de litofácies. Na região dos grandes diápiros, predominam as minibacias, cujas geometrias de refletores dependem principalmente da distância entre os diápiros, sendo mais plano paralelos quanto maior for a distância entre os diápiros. Devido a predominância de deposição de litofácies de mar aberto, os contrastes de amplitude são minimizados. A geometria das minibacias apresenta um afinamento em todas as camadas, além de um *stretch* nas bordas devido a ascensão dos diápiros. Na região das muralhas de sal, as camadas de idade Albiana e Cenomaniana são inexistentes ou muito delgadas, não sendo interpretadas superfícies devido à ausência de refletores contínuos e significativos. Ambos os poços (P-58 e P-18) apresentam litofácies de mar aberto que são cobertas por sal alóctone. Se trata, provavelmente, de uma “língua” de sal, já entrando na zona de *nappes* de sal, observadas na Figura 3, não identificada na seção sísmica em questão, devido à distância dos poços a seção.

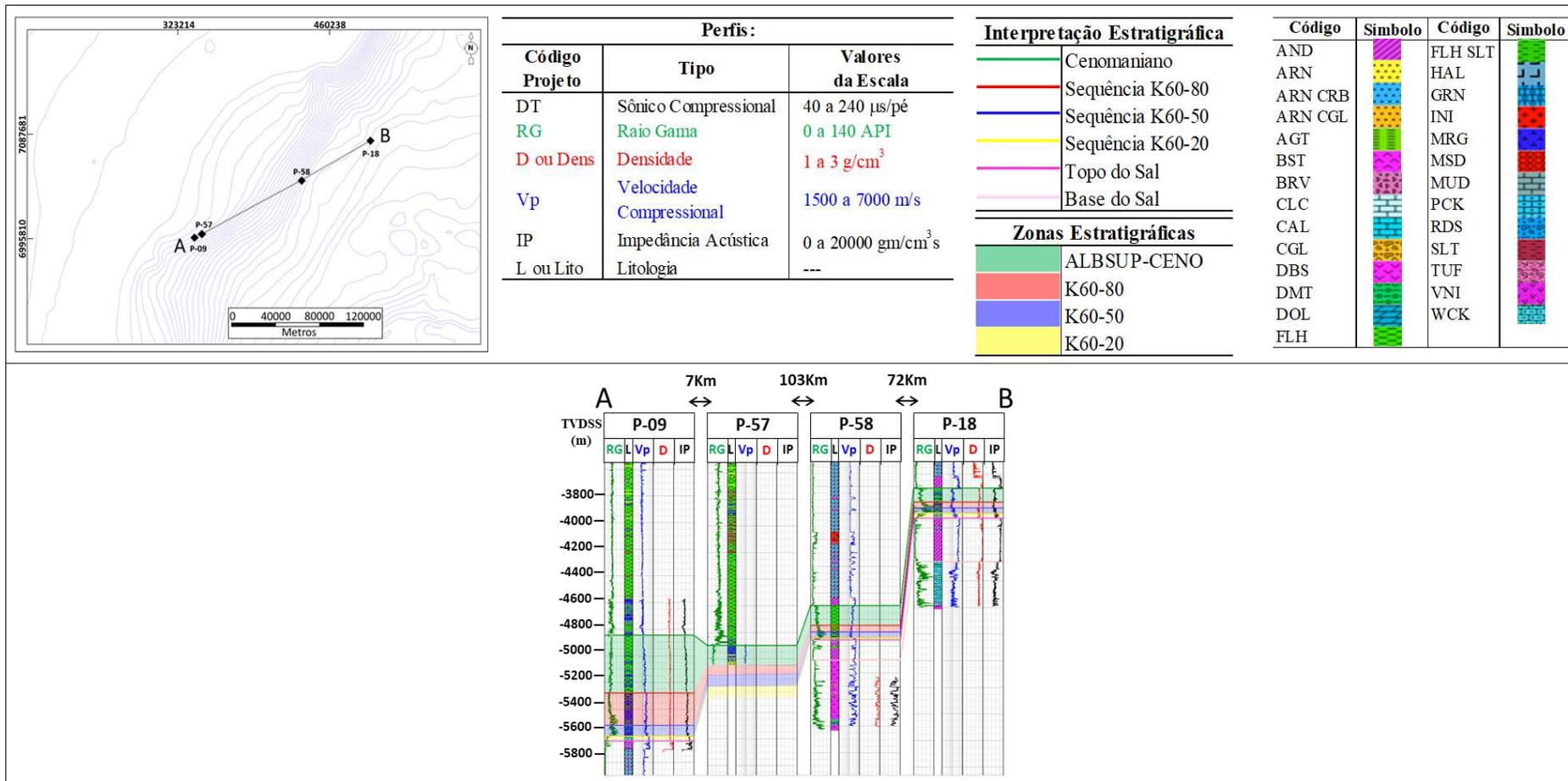


Figura 40 - Seção estratigráfica *strike* distal sul, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		STRIKE DISTAL SUL			
Poço		P-09	P-57	P-58	P-18
Zona	AlbSup_Ceno	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BACIA	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
	K60-80	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	---	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
	K60-50	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	---	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
	K60-20	BANCO CARBONÁTICO	---	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA

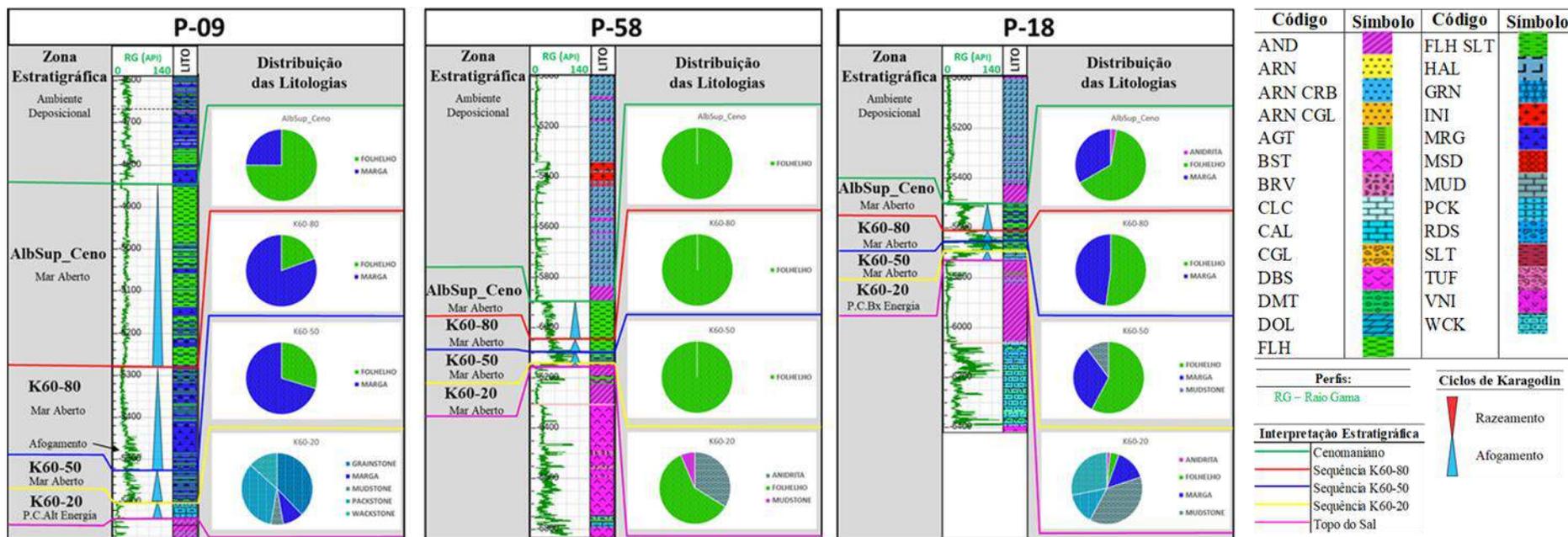


Figura 41 - Litofácies descritas na seção estratigráfica *strike* distal sul, a partir do zoneamento, análise litológica e inferência de ambiente em três poços analisados. Fonte: o Autor.

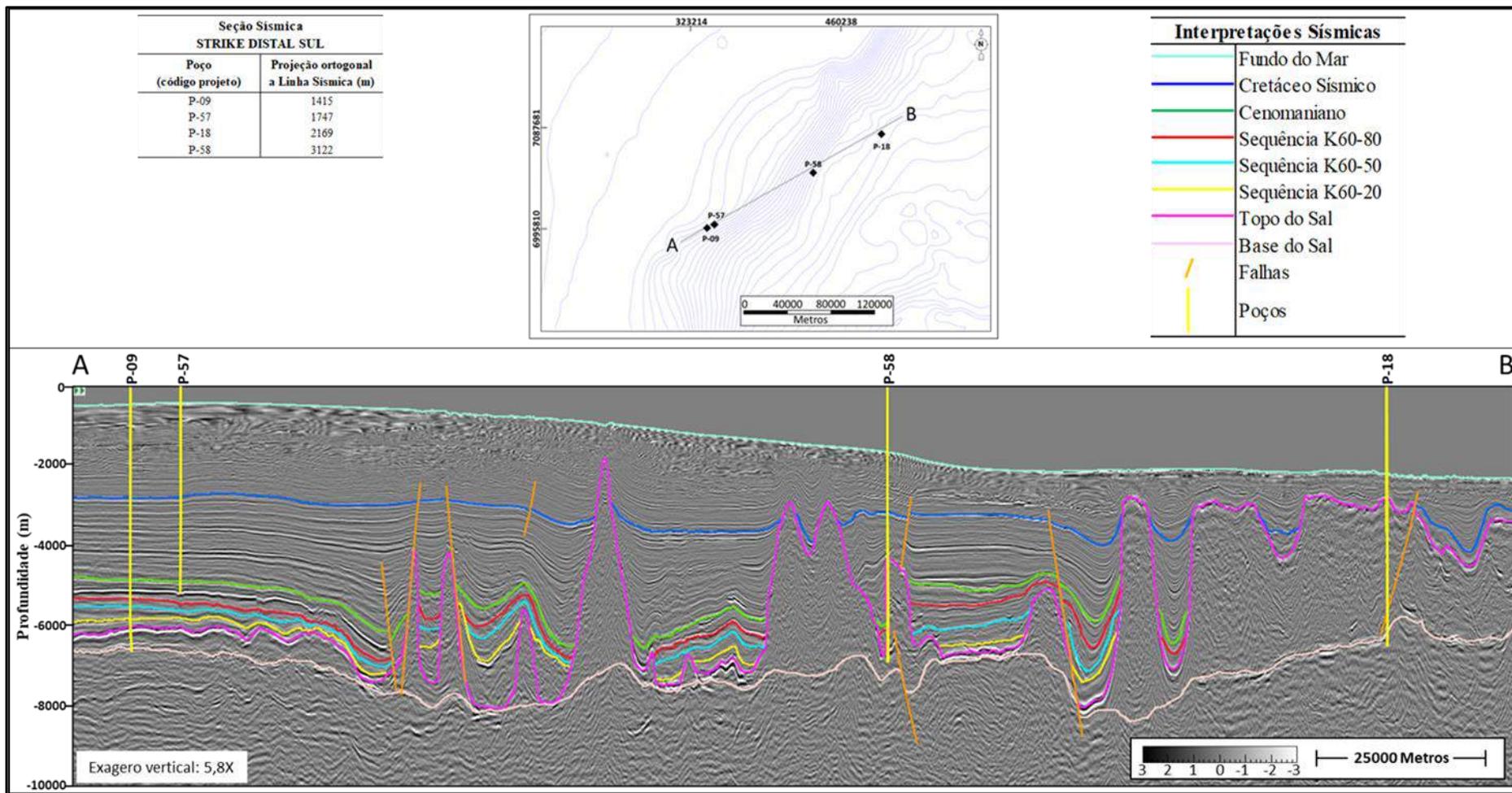


Figura 42 - Seção sísmica *strike* distal sul contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *strike* distal sul. Fonte: o Autor.

### 8.1.3.5 Seção *strike* distal norte

A seção estratigráfica *strike* distal norte possui aproximadamente 290 Km de extensão e passa por 12 poços perfurados em profundidades similares, em águas profundas, indo do centro ao extremo norte da Bacia de Santos (Figura 43).

A maioria dos poços atravessou todas as zonas estratigráficas de interesse e apenas um não atingiu a zona K60-20.

Todos os poços foram perfurados em regiões relativamente elevadas do embasamento, entretanto a região mais próxima à extremidade NE, do poço P-70 até o P-75, corresponde aos altos estruturais onde se encontram alguns dos principais campos produtores do Pré-sal, como Búzios e Mero.

A Figura 44 resume as litofácies interpretadas nos poços, a partir do zoneamento e da análise litológica feita nos poços, exemplificada nos três poços apresentados.

A zona K60-20 tem isópaca variando de 30 a 330 m. O limite inferior corresponde a transgressão que representa a passagem das rochas evaporíticas para as rochas carbonáticas e/ou siliciclásticas, e o limite superior depende da posição relativa na bacia, sendo o topo de um ciclo de afogamento, se forem sedimentos predominantemente siliciclásticos finos, ou o topo de um ciclo de raseamento, se forem sedimentos predominantemente carbonáticos. Em geral, nos altos estruturais não tão elevados, as litofácies interpretadas representam depósitos de plataforma carbonática distais de baixa energia que se intercalam a depósitos marinhos siliciclásticos de baixa energia. Nos grandes altos do embasamento ou gerados pela halocinese, são observadas a deposição de litofácies de plataforma carbonática de alta energia (bancos carbonáticos) intercalados a depósitos carbonáticos de baixa energia.

Na maioria dos poços, se observa que o conteúdo de rochas siliciclásticas começa a ser mais relevante que o das rochas carbonáticas na zona K60-50, a qual apresenta isópacas que variam de menos de 10 até 250 m, que acunham consideravelmente sobre o alto estrutural central. O limite inferior corresponde ao topo do ciclo de raseamento da sequência anterior ou ao topo de um ciclo de afogamento, dependendo da situação, conforme descrição anterior, e o limite superior segue a mesma linha de raciocínio. A provável subida do nível relativo do mar é evidenciada pela deposição de litofácies carbonáticas distais de baixa energia, que podem se intercalar ou simplesmente gradar a sedimentos marinhos siliciclásticos de baixa energia. Em apenas um alto estrutural ainda é observada a deposição de litofácies de bancos carbonáticos intercalados a depósitos carbonáticos de baixa energia.

As características da zona, K60-80 não são bem distintas da zona K60-50,

provavelmente dando continuidade à subida relativa do nível do mar. Apresenta isópaca variando de 30 a 250 m, também afinando sobre o alto central, e seus limites inferior e superior estão associados a afogamentos do sistema. As litofácies presentes evidenciam o aumento de batimetria representado por variações laterais de litofácies carbonáticas distais de baixa energia e sedimentos marinhos siliciclásticos de baixa energia.

Também muito semelhante às zonas K60-50 e K60-80, a zona AlbSup-Ceno apresenta litofácies que atestam a contínua subida do nível do mar, com predominância de depósitos de mar profundo. Sua isópaca varia de poucos metros até quase 600 m, também adelgaçando no sentido do alto central. A base da sequência é inferida em um sutil aumento no perfil de raio gama, sugerindo um novo ciclo transgressivo e o topo, em quebras dos perfis de raio gama e de Vp. As litofácies interpretadas são predominantemente siliciclásticas, de mar profundo, como depósitos de sedimentos finos, gradando lateralmente para alguns sistemas turbidíticos.

A seção sísmica *strike* distal norte (Figura 45) passa por um importante alto do embasamento, sobre o qual estão os campos de Búzios e Mero. A extremidade SW está perto do centro da bacia e a NE, próxima ao Alto de Cabo Frio. A projeção ortogonal varia, de 1 a 30 Km. Esta seção está, quase que em sua totalidade, posicionada na região de sal espesso, resultado de esforços compressivos, onde a geometria do sal forma diápiros bem pronunciados, e algumas muralhas (Figura 3). Nas proximidades da extremidade NE, no sentido do Alto de Cabo Frio, é observada uma tendência ao adelgaçamento dos evaporitos salinos, talvez pela iminência de adentrar no domínio extensional. Na região dos grandes diápiros e muralhas as zonas Albanas-Cenomanianas se dispõem em minibacias, cujas geometrias de refletores dependem, principalmente, da distância entre os diápiros, sendo os mesmos mais plano paralelos quanto maior a distância entre os diápiros. Também se observa o *stretch* nas bordas devido a ascensão dos diápiros. No topo das grandes muralhas de sal e de alguns diápiros, as camadas de idade Albiana e Cenomaniana são inexistentes ou muito delgadas, não sendo interpretadas superfícies devido à ausência de refletores contínuos e significativos. Na região de sal que começa a afinar, os refletores das zonas de interesse dessa pesquisa começam a ficar mais contínuos e plano paralelos. Algumas falhas, a princípio normais, foram interpretadas em toda a seção. No caso da região compressiva, estas falhas são duvidosas, estando associadas à alguns diápiros e muralhas. Entretanto, na borda NE, provavelmente são relacionados a esforços distensivos.

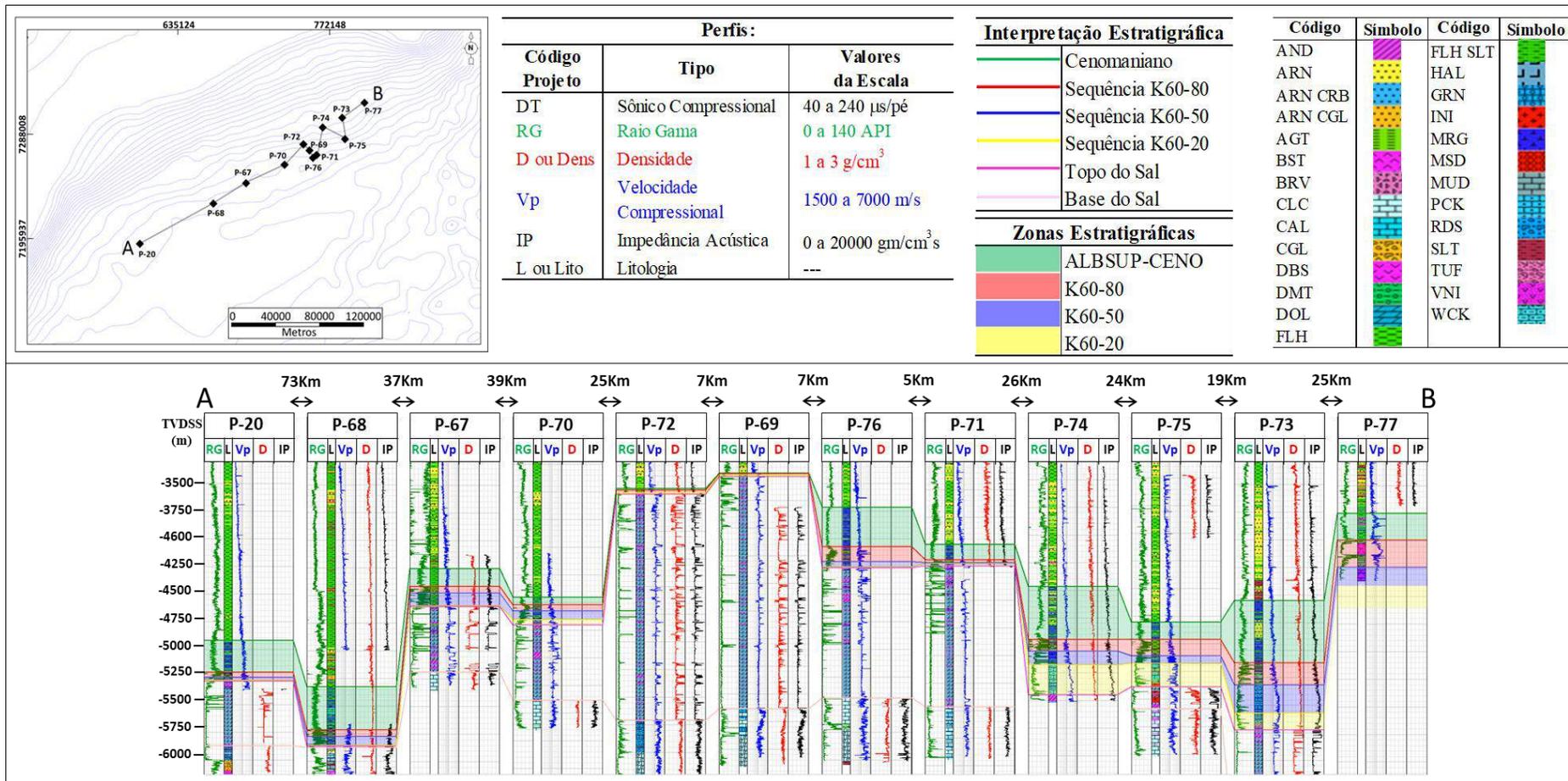


Figura 43 - Seção estratigráfica *strike* distal norte, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		STRIKE DISTAL NORTE											
Zona	Poço	P-20	P-68	P-67	P-70	P-72	P-69	P-76	P-71	P-74	P-75	P-73	P-77
AlbSup_Ceno		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	TURBIDITO	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	TURBIDITO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	TURBIDITO	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-80		BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	TURBIDITO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-50		BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA		BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA			
K60-20		BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BORDA DE BANCO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	---				

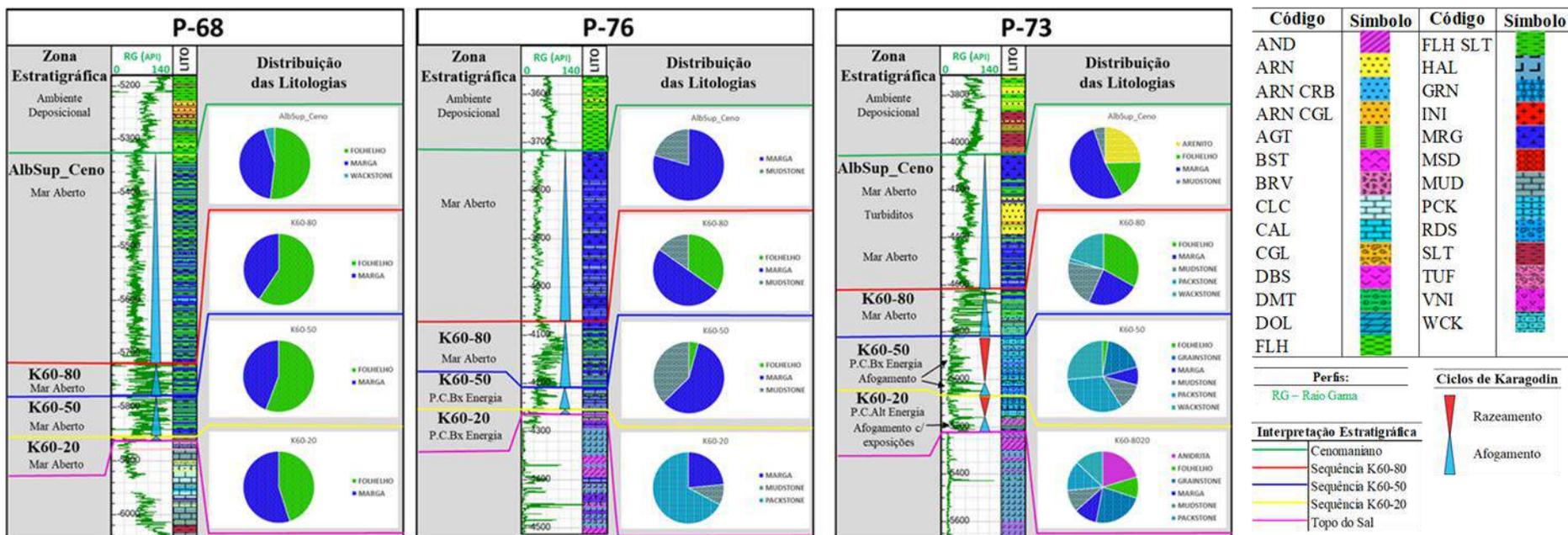


Figura 44 - Litofácies descritas na seção estratigráfica strike distal norte, a partir do zoneamento, análise litológica e inferência de ambiente em três poços analisados. Fonte: o Autor.

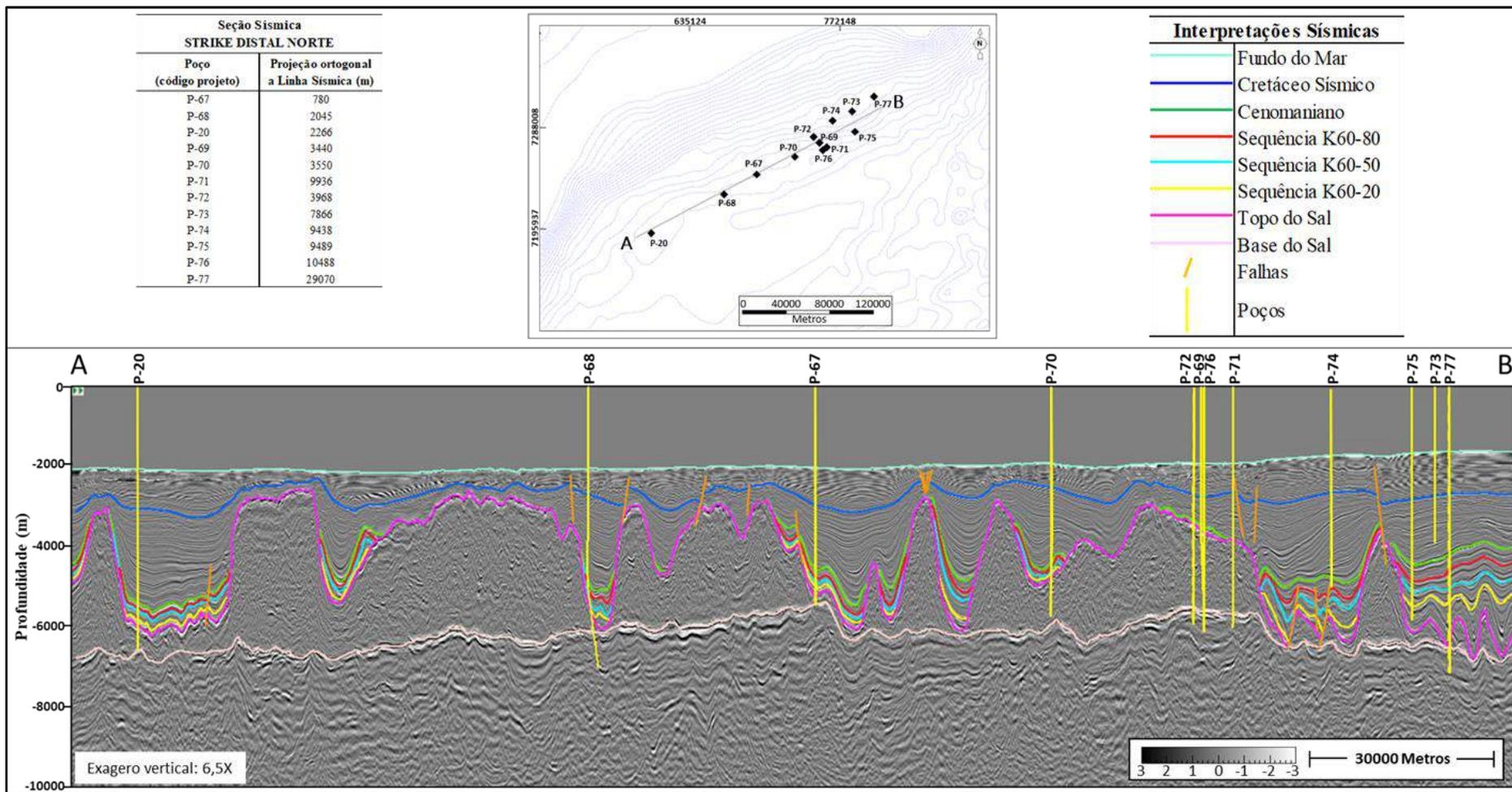


Figura 45 - Seção sísmica *strike* distal norte contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *strike* distal norte. Fonte: o Autor.

### 8.1.3.6 Seção *dip* extremo sul

A seção estratigráfica *dip* extremo sul possui aproximadamente 160 Km de extensão e conecta 10 poços perfurados lâmina d'água variável, desde águas rasas até profundas, no extremo sul da Bacia de Santos (Figura 46).

A maioria dos poços foi perfurada até a zona K60-50 e apenas três poços atingiram a zona K60-20.

A Figura 30 ilustra a localização da seção em relação ao topo do embasamento da bacia. A seção se inicia com poços perfurados em um baixo estrutural do embasamento (ponto de referência A, poço P-08), a NW, caminhando no sentido de um alto estrutural relativo (ponto de referência B), a SE.

Os poucos poços que atingiram ou atravessaram a zona K60-20 ilustram a transgressão marinha que tem como limite inferior a passagem dos evaporitos salinos para os carbonatos e o limite superior, o topo de um ciclo de raseamento, sobre o qual se assentam rochas de granulação fina. Em geral apresentam litofácies de limites de bancos carbonáticos (alta energia) e borda de bancos (baixa energia), depósitos de plataforma carbonática de baixa e marinhos de baixa energia, e de bancos carbonáticos (alta energia). Os depósitos carbonáticos estão correlacionados a regiões altas do embasamento, sendo as regiões mais altas, as mais propensas ao desenvolvimento de *grainstones* e *packstones*, de alta energia.

A interpretação das litofácies para cada poço pode ser observada na Figura 47.

Assim como na zona anterior, é difícil discorrer sobre a isópaca da zona K60-50, pois quase todos os poços ficaram “pendurados” nesta zona. Os poucos poços que atravessaram na totalidade a zona registraram uma diminuição da isópaca no sentido do alto estrutural, a SE, de cerca de 440 para 80 m. Com exceção de poços em regiões distais, o afogamento que marca a base da sequência não corresponde à sedimentação siliciclástica fina, mas sim à sedimentação carbonática fina, seguida de uma sedimentação em caráter agradacional ou, progradacional, raseando para o topo. Na região proximal, associada à um baixo estrutural do embasamento, litofácies lagunares são encontradas. A partir do poço P-08 até o P-06, se observa a instalação de uma plataforma carbonática, predominantemente de alta energia, com *grainstones* e *packstones* predominando e, secundariamente, algumas litofácies limítrofes de alta e baixa energia. No extremo SE da seção, encontram-se litofácies marinhas de baixa energia, resultado provável de uma subida do nível do mar, na época da deposição da zona.

Apenas um poço não atravessou a zona K60-80. Assim, a isópaca da zona varia de 250 a 520 m, novamente apresentando certa diminuição no sentido do alto, a SE da seção. Os limites

dessa sequência se assemelham muito aos da sequência anterior. Discordâncias marcadas por transgressões marinhas, evidenciadas por um sutil afogamento do sistema anterior na base, até o afogamento completo imposto ao sistema carbonático representado pela sequência AlbSup-Ceno. Assim como na zona K60-50, a distribuição de litofácies segue o mesmo padrão: litofácies lagunares proximais, no baixo a NW, variando lateralmente a litofácies plataformais carbonáticas, predominantemente de alta energia, com *grainstones* e *packstones* e finalmente, gradando a litofácies marinhas de baixa energia, no extremo SE da seção.

A isópaca da zona AlbSup-Ceno é, em média, menor que a zona anterior, variando de 120 a 430 m. Sua base é relativamente simples de ser identificada como o início da sedimentação siliciclástica sobre os carbonatos, e seu topo é marcado em um máximo do perfil de raios gama, a partir do qual seu estilo se altera, e ocorrendo uma sutil “quebra” no perfil de Vp. Em sua maioria corresponde a litofácies finas predominantemente siliciclásticas. Na região proximal são identificadas litofácies lagunares que gradam lateralmente para litofácies marinhas proximais mais sílticas, até culminar em litofácies marinhas bacinais, ilustrando a subida do nível do mar na época da deposição.

A seção sísmica *dip* extremo sul (Figura 48) está localizada no litoral dos estados do Paraná e Santa Catarina, no limite sul da Bacia de Santos. Está quase que em sua totalidade posicionada sobre o Alto de Florianópolis, e a projeção ortogonal dos poços analisados varia de poucos metros a 17 Km. A camada de evaporitos salinos é relativamente delgada e tabular, com formação de almofadas, provavelmente associada à região tectônica de extensão (prolongamento da Figura 3 no sentido SW). Os refletores das zonas estratigráficas Albianas-Cenomanianas são normalmente contínuos, plano paralelos, com pouca variação de espessura, e com alguns contrastes de impedância acústica significativos. Algumas falhas normais formando *horsts* e *grabens* foram interpretadas, as quais evidenciam uma tectônica extensional. A região central desta seção corresponde a uma plataforma carbonática intensamente perfurada nas décadas de 1970 e de 1980, quando foram descobertas algumas acumulações de hidrocarbonetos no Albiano Inferior, como as dos campos de Caravela, Coral, Estrela do Mar, Tubarão etc.

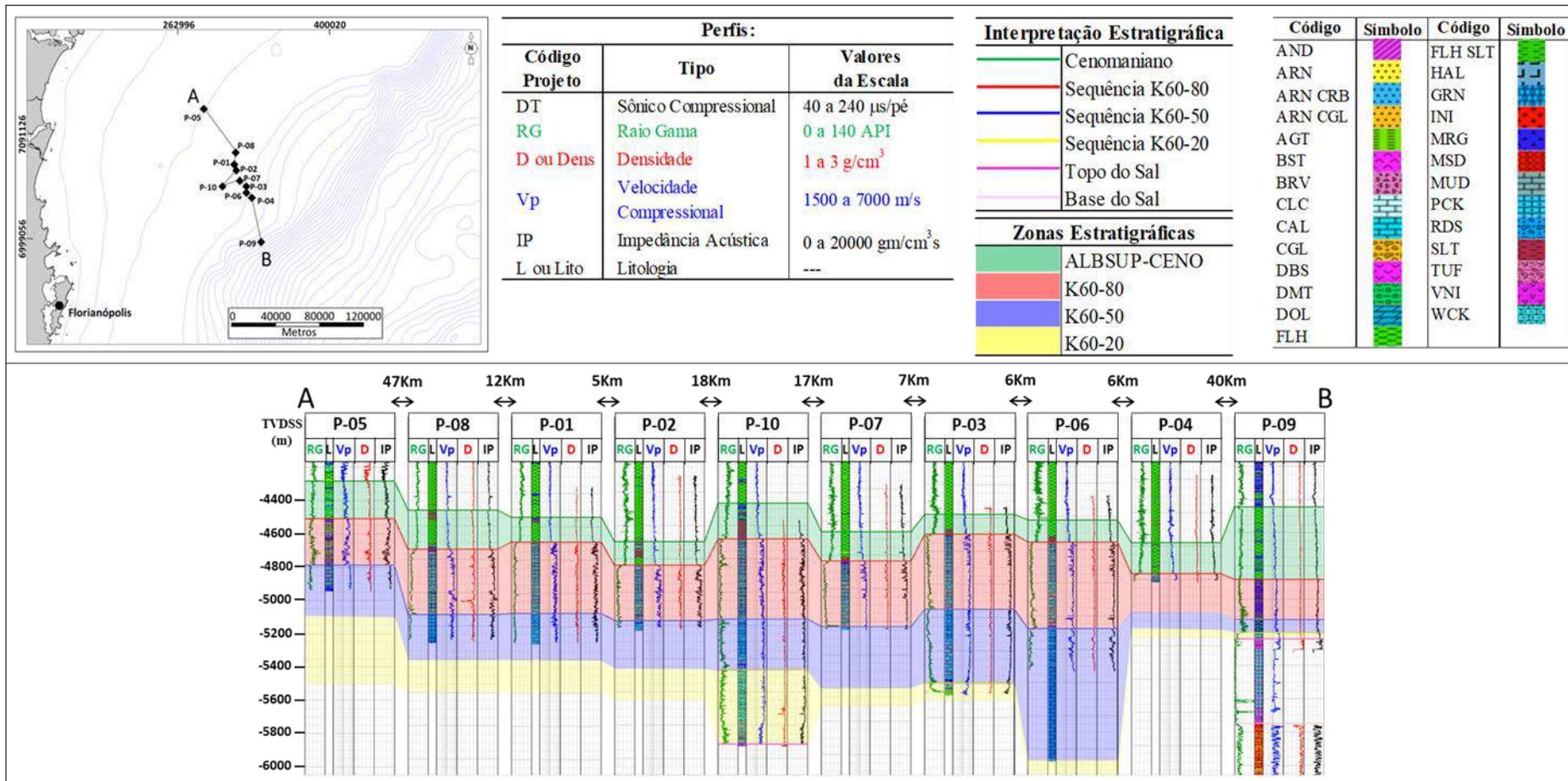


Figura 46 - Seção estratigráfica *dip* extremo sul, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		DIP EXTREMO SUL									
Poço		P-05	P-08	P-01	P-02	P-10	P-07	P-03	P-06	P-04	P-09
Zona											
AlbSup_Ceno		LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA			
K60-80		LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-50		LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BANCO CARBONÁTICO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BANCO CARBONÁTICO	---	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-20		---	---	---	---	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	---	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	---	---	BANCO CARBONÁTICO

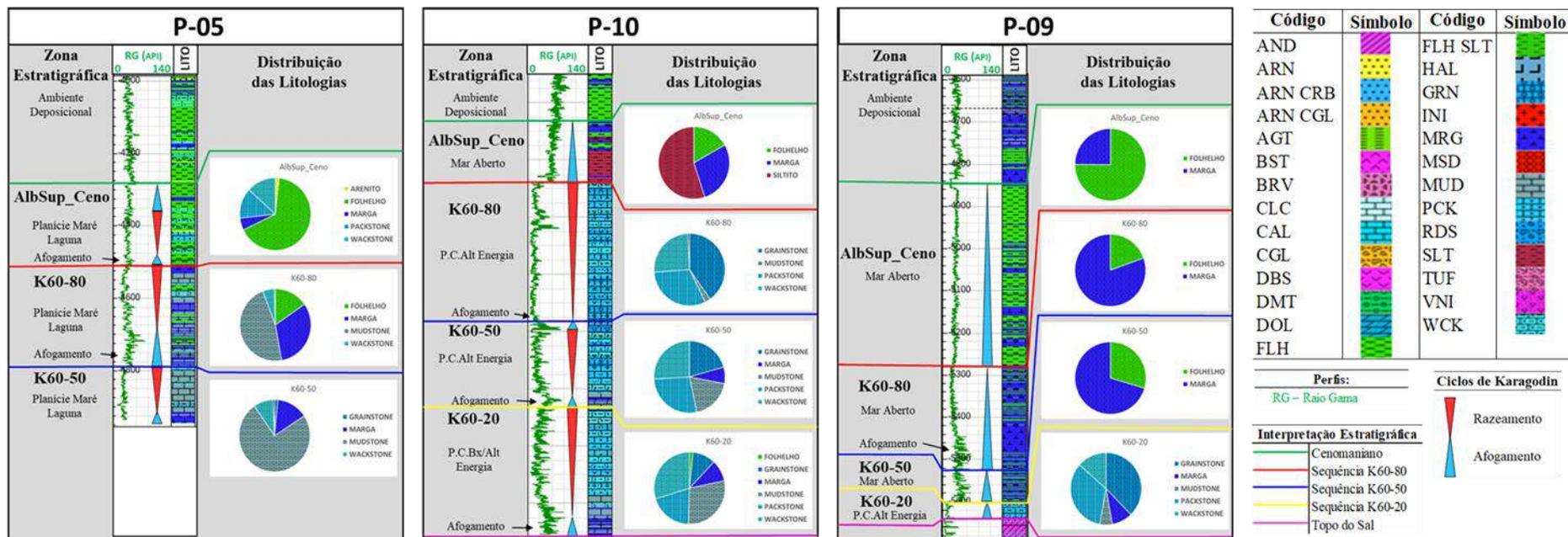


Figura 47 - Litofácies descritas na seção estratigráfica *dip* extremo sul, a partir do zoneamento, análise litológica e inferência de ambiente em três poços analisados. Fonte: o Autor

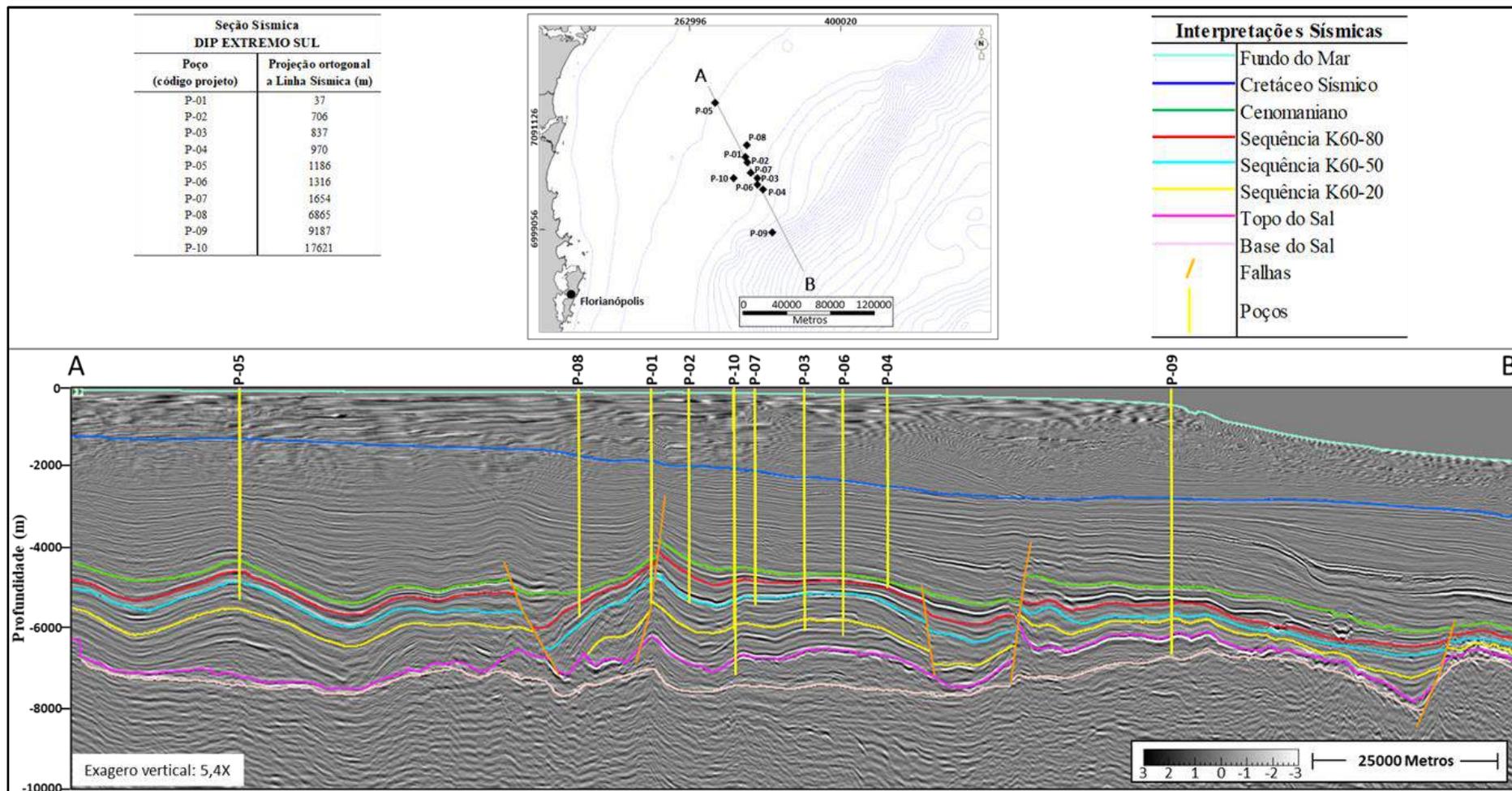


Figura 48 - Seção sísmica *dip* extremo sul contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *dip* extremo sul. Fonte: o Autor.

### 8.1.3.7 Seção *dip* sul

A seção estratigráfica *dip* sul possui aproximadamente 220 Km de extensão, em lâmina d'água variável (águas rasas até profundas), e passa por oito poços localizados na porção sul da Bacia de Santos (Figura 49).

Apenas quatro poços perfuraram na totalidade as zonas de interesse da pesquisa.

A Figura 30 ilustra a localização da seção em relação ao topo do embasamento da bacia. Os poços localizados na extremidade NW da seção são bastante proximais, posicionados sobre região mais alta do embasamento. A partir do P-11, a seção passa por um grande baixo estrutural na porção central da seção até o P-18, que está localizado na extremidade SE, sobre um alto relativo do embasamento. A deposição de litofácies carbonáticas tem relação direta com altos estruturais do embasamento, quando tanto litofácies de baixa quanto de alta energia se desenvolveram.

A interpretação das litofácies para cada poço pode ser observada na Figura 50, bem como três exemplos de poços zoneados e interpretados.

Os poços que atingiram ou atravessaram a zona K60-20 apresentaram isópacas que variam de 60 a 120 m. As litofácies encontradas nesta zona corroboram a transgressão marinha cuja sedimentação siliciclástica proximal e carbonática plataformar, se assentam sobre os evaporitos salinos. O limite superior é representado pelo início de um ciclo de raseamento, evidenciado por progradações siliciclásticas continentais sobre sedimentos lagunares, em regiões proximais, litofácies carbonáticas de mais alta energia sobre litofácies de baixa energia, e em regiões distais pelo afogamento das litofácies carbonáticas de baixa energia, sobre as quais se assentam rochas de granulação fina. Em região proximal apresentam litofácies lagunares, siliciclásticas/carbonáticas migrando sobre litofácies siliciclásticas. Nas regiões intermediárias litofácies limítrofes de bancos carbonáticos (alta energia) e borda de bancos (baixa energia), além de depósitos limítrofes siliciclásticos de baixa energia, e de bancos carbonáticos (alta energia) ocorrem. Na região distal depósitos carbonáticos de baixa energia são identificados.

Apenas quatro poços atravessaram na totalidade a zona K60-50, e apresentaram isópaca variando de 40 a 400 m. Se observa uma diminuição da isópaca no sentido das regiões altas do embasamento, tanto a NW quanto a SE. Em regiões proximais e intermediária, o limite inferior é marcado pelo início do raseamento imposto na bacia, que culmina com um afogamento no topo. Entretanto, na região distal somente litofácies de águas profundas são encontradas. Na região proximal, associada à região alta do embasamento, litofácies siliciclásticas costeiras são encontradas, migrando lateralmente *downdip* para litofácies carbonáticas de baixa energia. Na

região distal, depósitos limítrofes de plataforma carbonática de baixa energia e litofácies marinhas de baixa energia são identificadas, já no extremo SE da seção.

Somente o poço P-13 não atravessou a zona K60-80. Sua isópaca apresenta grande variação, de 40 a 700 m, espeçando demasiadamente nas regiões mais baixas, na região central da seção. Os limites dessa sequência estão associados à superfícies de inundação marcadas por sutis afogamentos do sistema anterior, tanto na base quanto no topo. Na região proximal, são observadas a sobreposição de litofácies lagunares sobre costeiras flúvio-deltáicas. Já na região intermediária predominam litofácies carbonáticas. Estas variam lateralmente para litofácies siliciclásticas de baixa energia em baixos estruturais, e para litofácies carbonáticas de alta energia em regiões mais altas. Na região distal apenas litofácies marinhas de baixa energia são encontradas.

A isópaca da zona AlbSup-Ceno é mais uniforme que a da zona K60-80, variando de 100 a 600 m, não apresentando relação com baixos ou altos do embasamento. Sua base é relativamente simples de ser identificada, como um afogamento da sequência anterior. Já o seu topo é marcado em um máximo do perfil de raio gama, a partir do qual seu estilo muda, e em uma sutil quebra no perfil de Vp. Normalmente é representada por litofácies siliciclásticas finas de baixa energia, que representam a subida do nível do mar nessa época de deposição. Na região proximal são identificadas litofácies siliciclásticas costeiras e litofácies lagunares que gradam lateralmente para litofácies marinhas. Novamente, o poço P-18 (o mesmo presente na seção estratigráfica *strike* distal sul - Figura 40) se faz presente apresentando sua inversão estratigráfica, com a presença de depósitos evaporíticos alóctones, aptianos, acima da sequência AlbSup-Ceno, devido a mobilidade do sal, imposta pela halocinese.

A seção sísmica *dip* sul (Figura 51) está localizada a NE da seção *dip* extremo sul, no litoral próximo a cidade de Santos. Sua extremidade NW está em região proximal, em área estruturalmente alta no sentido do continente, próxima a charneira cretácica. Na parte intermediária o embasamento se aprofunda, e volta a subir na região distal, gerando um alto relativo, já na extremidade SE da seção. A maioria dos poços está concentrada na região NW, e suas projeções ortogonais variam de 0,3 a 31 Km. Nesta seção pode-se observar os domínios estruturais dos evaporitos salinos, criados pela halocinese. Na região proximal os evaporitos salinos são relativamente delgados e tabulares, com formação de almofadas. Na porção intermediária da seção, começam a aparecer os grandes diápiros, e mais próximo a extremidade SE, na porção distal, se observa a presença de algumas grandes muralhas. Na região proximal os refletores referentes ao intervalo Albiano-Cenomaniano são normalmente contínuos, plano paralelos, formando zonas com pouca variação de espessura (exceto na zona K60-20), e com

alguns contrastes de impedância acústica significativos. Poucas falhas normais formando *horsts* e *grabens* foram interpretadas. A partir do aparecimento dos grandes diápiros, até o final da seção, predominam as minibacias, com geometria de refletores que dependem da distância entre os diápiros, sendo mais plano paralelos quanto maior a distância entre os diápiros. No limite das bordas dos diápiros a geometria das minibacias apresenta um afinamento em todas as camadas, além de um *stretch* nas bordas devido a ascensão dos diápiros. Em alguns locais, como a região apical dos diápiros e/ou das grandes muralhas, as camadas de idade Albiana e Cenomaniana são inexistentes ou muito delgadas, não sendo interpretados horizontes devido à ausência de refletores contínuos e significativos. Poucas falhas normais, normalmente associadas à domos e diápiros de sal, formando foram interpretadas.

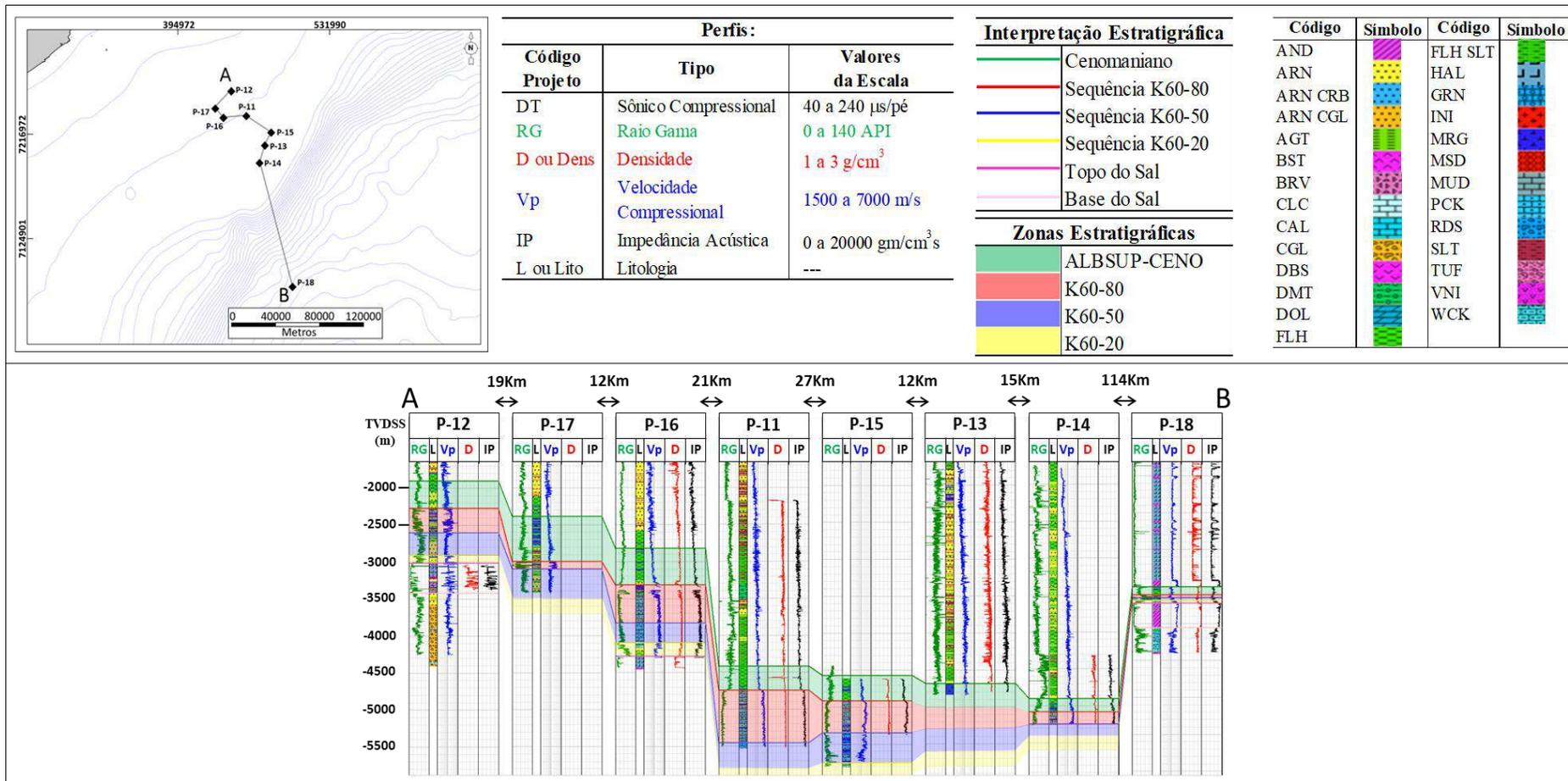


Figura 49 - Seção estratigráfica *dip* sul, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		DIP SUL							
Zona	Poço	P-12	P-17	P-16	P-11	P-15	P-13	P-14	P-18
AlbSup_Ceno		COSTEIROS GROSSEIROS	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-80		LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	---	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-50		COSTEIROS FINOS	COSTEIROS FINOS	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	BANCO CARBONÁTICO	---	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-20		LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	---	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	---	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	---	---	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA

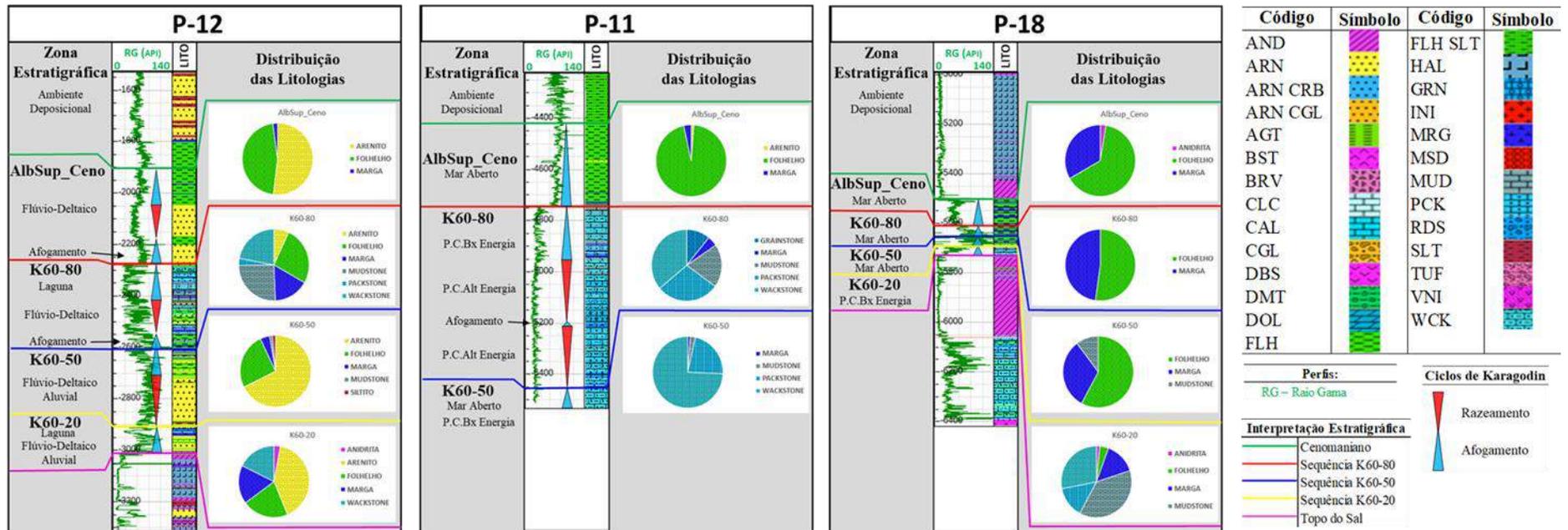


Figura 50 - Litofácies descritas na seção estratigráfica dip sul, a partir do zoneamento, análise litológica e inferência de ambiente em três poços analisados. Fonte: o Autor.

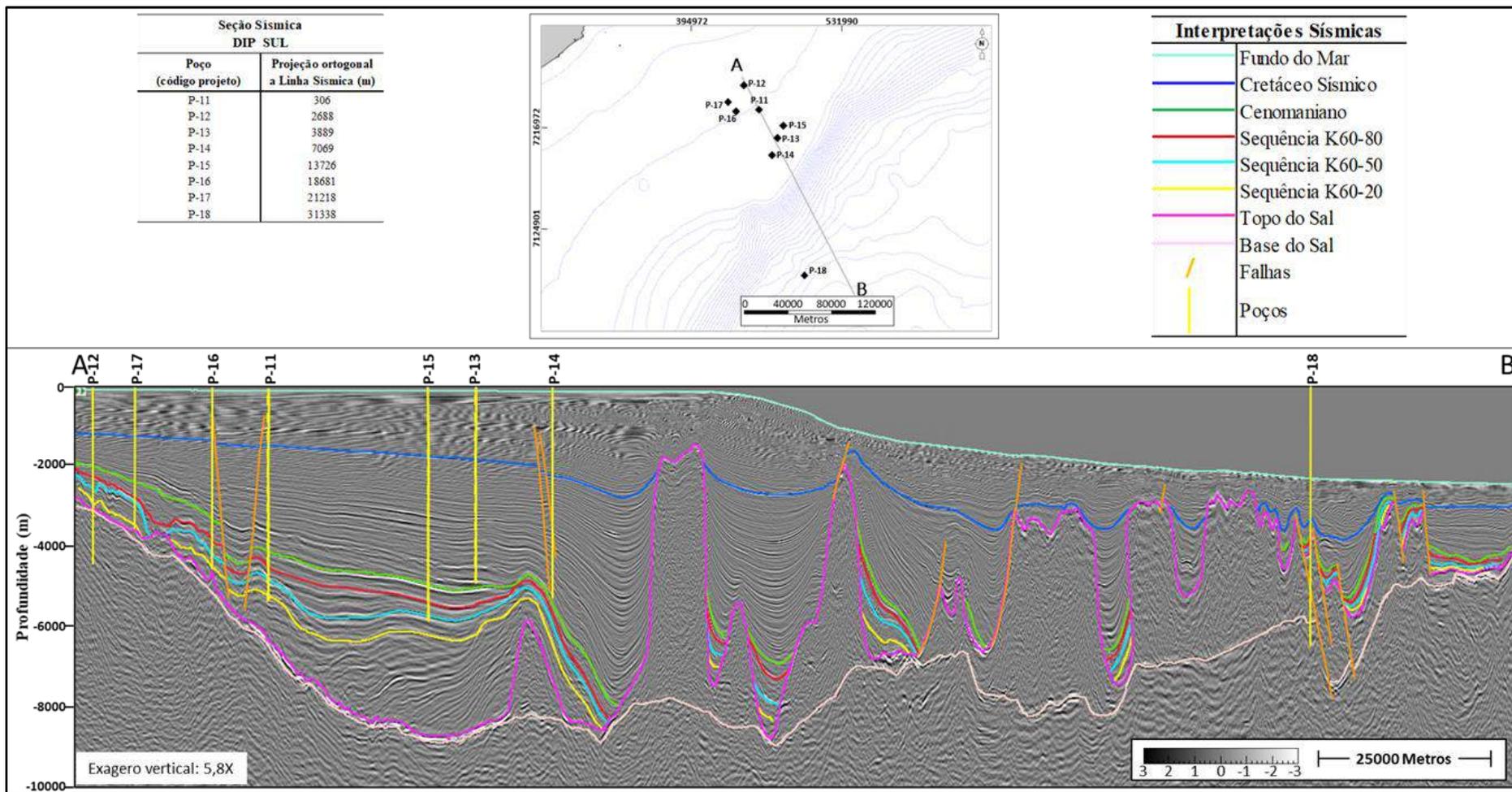


Figura 51 - Seção sísmica *dip* sul contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *dip* sul.  
Fonte: o Autor.

### 8.1.3.8 Seção *dip* centro

Com aproximadamente 265 Km de extensão, a seção estratigráfica *dip* centro vai de lâmina d'água rasa até profunda, sendo composta por nove poços localizados na porção central da Bacia de Santos (Figura 52).

Seis poços perfuraram na totalidade as zonas de interesse.

Esta seção parte de uma região estruturalmente alta, na extremidade proximal, a NW da seção (poços P-51 ao P-22). Seguindo no sentido *downdip* da bacia, atravessa um baixo estrutural que contém um alto relativo, até chegar na extremidade SE, em outro alto estrutural do embasamento, onde está o P-26 (Figura 30). Nesta seção é observada a relação direta de litofácies carbonáticas de baixa e de alta energia com altos estruturais do embasamento.

Com referência no zoneamento e na análise litológica, foram inferidas as litofácies nos poços, apresentadas na Figura 53.

A zona K60-20 foi perfurada na sua totalidade por seis poços, os quais apresentaram isópaca variando de 30 a 300 m, que diminuem em direção ao alto relativo na região distal. Embora alguns poços sejam bastante proximais, não existem litofácies siliciclástica proximais costeiras. As litofácies encontradas nesta zona indicam o desenvolvimento de uma extensa plataforma carbonática sobre os evaporitos salinos aptianos. Nos poços foram encontradas litofácies carbonáticas de alta energia, às vezes intercaladas a litofácies de baixa energia, e mesmo em regiões distais foram encontradas litofácies de alta energia, associadas à altos estruturais. O limite superior da zona é caracterizado pelo início de um afogamento, indicando uma subida relativa do nível do mar na bacia.

Sete poços perfuraram a zona K60-50, a qual apresenta isópaca que varia de 25 a 260 m. Assim como na zona K60-20, ocorre uma diminuição da isópaca em direção ao alto estrutural, na região distal da bacia, a SE. O limite inferior da zona é caracterizado pelo início do afogamento, indicando uma subida relativa do nível do mar na bacia. Em poços localizados na região proximal, esta sequência é caracterizada por um ciclo de raseamento sobreposto ao afogamento inicial. Entretanto, na região distal, a sequência corresponde a um único ciclo de afogamento. O limite superior da zona é caracterizado pelo início do afogamento relativo à zona K60-80. Na região proximal litofácies siliciclásticas/carbonáticas lagunares são encontradas. Migrando lateralmente *downdip* são encontradas litofácies carbonáticas de baixa energia e, em raros casos, litofácies siliciclásticas de baixa energia. Novamente, associado ao alto estrutural na região distal, litofácies carbonáticas de baixa energia são encontradas, já no extremo SE da seção.

Todos os poços da seção perfuraram a zona K60-80. Sua isópaca apresenta grande variação, de 25 a 330 m, também diminuindo no sentido do alto estrutural, na região distal da bacia, a SE. Assim como na zona anterior, os limites dessa sequência estão associados a discordâncias marcadas por afogamentos na bacia, tanto na base quanto no topo. Na região proximal são observadas litofácies plataformais carbonáticas de baixa energia migrando lateralmente para litofácies siliciclásticas de baixa energia, associadas à regiões mais baixas estruturalmente e, novamente, para litofácies plataformais carbonáticas de baixa energia, já sobre o alto estrutural mais externo.

Atravessada por todos os poços, a zona AlbSup-Ceno apresenta uma grande variação de isópaca (20 a 570 m), entretanto não tendo tanta influência/relação com os altos estruturais. Em geral, esta zona está associada à um afogamento do sistema carbonático presente nas zonas subjacentes. Interessante nesta zona é o fato do aparecimento de um ciclo de raseamento no sistema na região distal, representado por carbonatos de baixa energia, provavelmente devido a combinação alto relativo – deposição – diminuição da lâmina d'água modificando as litofácies carbonáticas depositadas. Sua base é relativamente simples de ser identificada, como um afogamento da sequência anterior, e o topo marcado em um máximo do perfil de raios gama, a partir do qual mudam o estilo dos perfis (raios gama e Vp) e a litologia descrita. Normalmente é representada por litofácies siliciclásticas finas de baixa energia, que atestam a subida do nível do mar nessa época de deposição. Sobre o alto estrutural externo litofácies carbonáticas de baixa energia predominam.

A seção sísmica *dip* centro (Figura 54) está localizada a NE da seção *dip* sul, na região central da Bacia de Santos. A projeção ortogonal dos poços varia de poucos metros até 30 Km. Visualmente, esta seção é muito similar a seção *dip* sul (Figura 51). Sua extremidade NW está em região proximal estruturalmente alta, no sentido do continente. Passa por um baixo do embasamento, logo atingindo outro alto relativo, na porção intermediária da seção. A partir daí a seção segue sobre região mais alta do embasamento até atingir o alto relativo na região distal da bacia, já na extremidade SE. Os domínios estruturais gerados pela halocinese também são similares a seção *dip* sul (Figura 3). Na região proximal, os evaporitos salinos são relativamente delgados e tabulares, com formação de almofadas e de pequenos diápiros. Na porção intermediária da seção, a partir do alto central, surgem alguns grandes diápiros e, mais próximo a extremidade SE, na porção distal, é observada a presença de uma grande e contínua muralha de sal. Da mesma forma, na região proximal, os refletores das zonas estratigráficas Albianas-Cenomanianas são normalmente contínuos, plano paralelos, formando zonas com pouca variação de espessura (exceto na zona K60-50), e com alguns contrastes de impedância acústica

significativos. Muitas falhas normais formando *horsts* e *grabens* foram interpretadas. A partir do aparecimento dos grandes diápiros, até o final da seção, são identificadas algumas minibacias, com geometria de refletores plano paralelos, afinando no limite das bordas dos diápiros (*stretch*) devido a ascensão deles. Novamente, na região apical dos diápiros as camadas de idade Albiana e Cenomaniana são inexistentes ou muito delgadas, não sendo interpretados horizontes. Poucas falhas normais relacionadas ao sal foram interpretadas. Sobre a grande e contínua muralha de sal é observado o reaparecimento de camadas contínuas e paralelas, mas com espessura bem reduzida. As litofácies carbonáticas encontradas em poços perfurados nesta porção, evidenciam que não só altos do embasamento tiveram influência na deposição carbonática, mas também que “altos estruturais” criados pela tectônica salífera propiciaram ambientes com condições ambientais favoráveis à sedimentação carbonática.

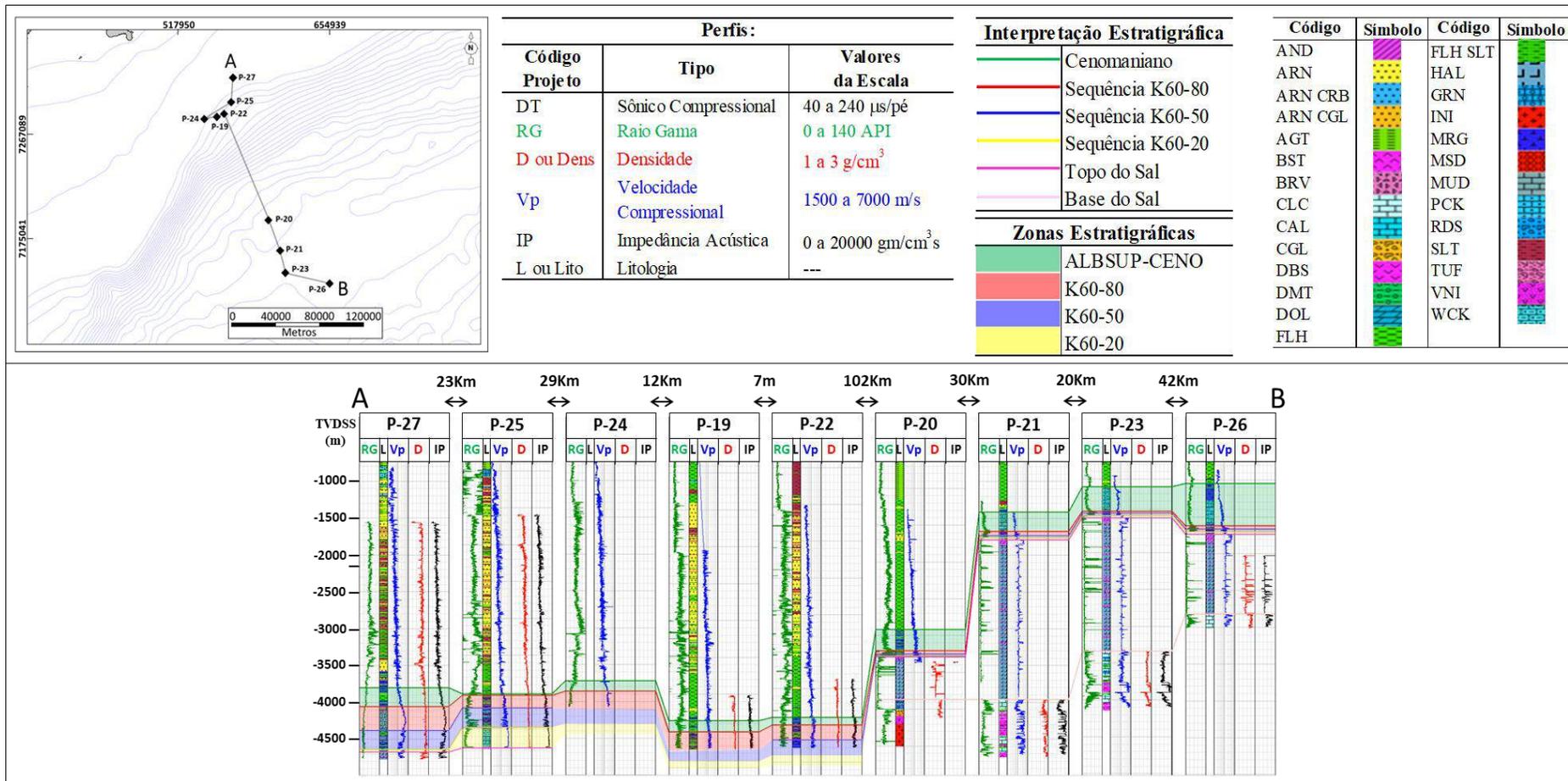


Figura 52 - Seção estratigráfica *dip* centro, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		DIP CENTRO								
Poço		P-27	P-25	P-24	P-19	P-22	P-20	P-21	P-23	P-26
Zona										
AlbSup_Ceno		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA
K60-80		BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA			
K60-50		LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	---	---	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA			
K60-20		BANCO CARBONÁTICO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	---	---	---	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO	BANCO CARBONÁTICO

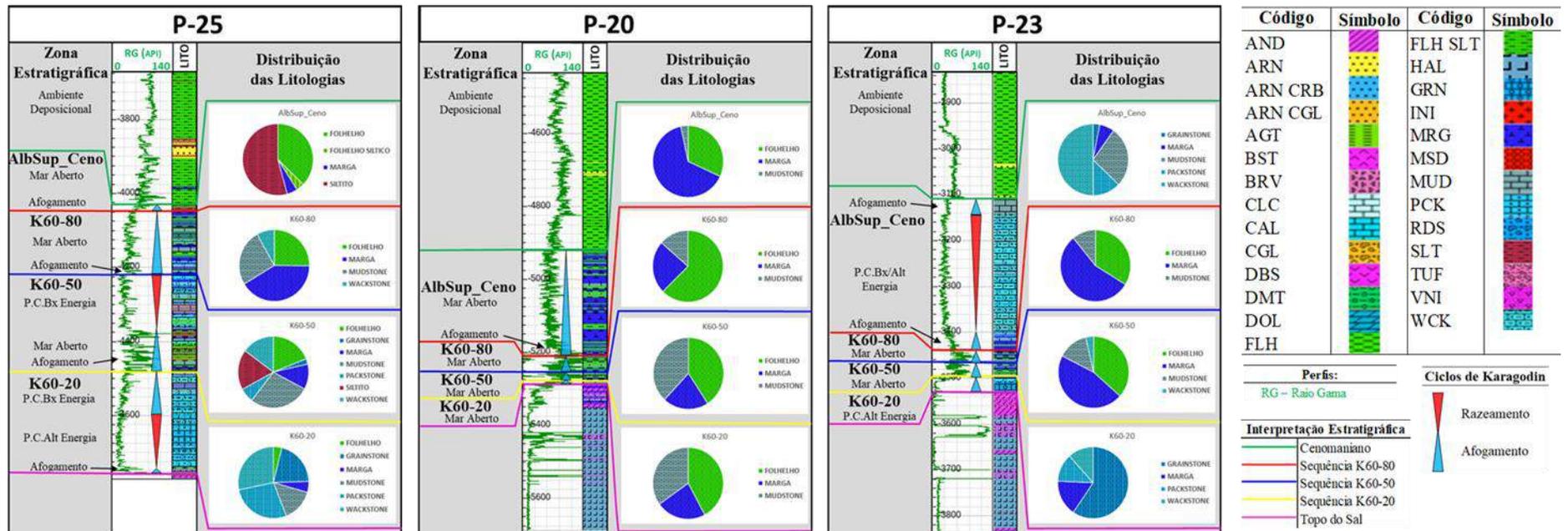


Figura 53 - Litofácies descritas na seção estratigráfica dip centro, a partir do zoneamento, análise litológica e inferência de ambiente em três poços analisados. Fonte: o Autor.

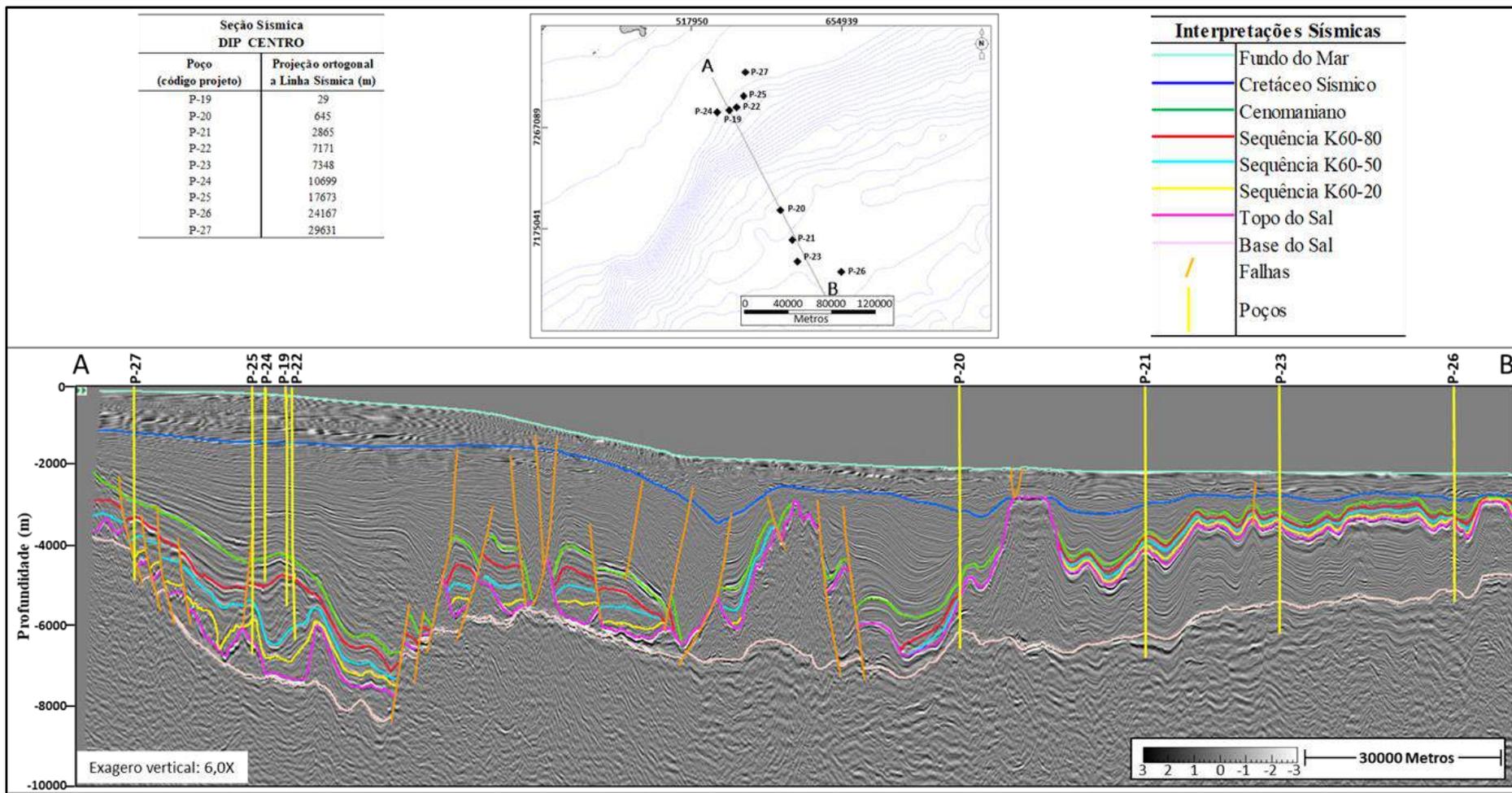


Figura 54 - Seção sísmica *dip* centro contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *dip* centro.

Fonte: o Autor.

### 8.1.3.9 Seção dip norte

A seção estratigráfica *dip* norte possui aproximadamente 230 Km de extensão, está localizada na porção norte da Bacia de Santos (Figura 55), e conta com 10 poços perfurados em lâmina d'água rasa até profunda.

Com exceção do poço P-32, todos os outros poços da seção atingiram ou atravessaram todas as zonas Albianas-Cenomanianas.

Os poços localizados na extremidade NW da seção são proximais, posicionados sobre um baixo estrutural do embasamento (Figura 30). Conforme se avança no sentido *downdip*, se observa que os poços foram posicionados sobre regiões estruturalmente mais elevadas do embasamento, principalmente os que tinham como objetivo comercial, as trapas do Pré-sal, como os poços dos campos de Lula, Atapu e Sul de Berbigão. A deposição das litofácies carbonáticas continua a ter relação direta com altos estruturais do embasamento, principalmente nas zonas mais basais (K60-20 e K60-50) entretanto, nas zonas mais superiores, as incursões marinhas teriam sido mais severas, predominando litofácies siliciclásticas de baixa energia e, localmente, até mesmo litofácies turbidíticas podem ser encontradas.

A Figura 56 apresenta as litofácies interpretadas em cada poço, resultado do estudo de zoneamento e da análise litológica.

Os poços que atingiram ou atravessaram a zona K60-20, constataram isópaca variando de 13 a 53 m. As litofácies encontradas nesta zona evidenciam a plataforma carbonática que se desenvolveu nesta região, principalmente associada à regiões mais altas do embasamento. Na região proximal é observada uma sedimentação siliciclástica proximal. Com a transgressão marinha iniciada no Albiano inferior, as áreas com menor lâmina d'água, em regiões intermediárias e distais desenvolveram uma plataforma carbonática sobre os evaporitos salinos. Um afogamento desse sistema, representado pela zona superior, marca o limite superior desta zona. As litofácies carbonáticas características são de baixa energia, de alta energia e litofácies limítrofes de bancos carbonáticos e borda de bancos.

A isópaca da zona K60-50 varia de 25 a 280 m, com relação direta com o estrutural do embasamento, espeçando nos baixos, a NW da seção, e afinando nos altos, a SE da seção. Como um todo, a deposição desta zona representa uma elevação do nível do mar, com afogamento da plataforma desenvolvida na zona anterior. Dessa forma, litofácies siliciclásticas finas de mar aberto cobriram as litofácies proximais e carbonáticas da zona anterior. No poço P-33, litofácies semelhantes a turbiditos foram depositadas. Apenas nas regiões estruturalmente mais altas a sedimentação siliciclástica/carbonática, de baixa energia de plataforma externa perdurou.

A zona K60-80 representa a contínua subida do nível do mar. Sua isópaca apresenta grande variação, de 40 a 560 m, também espeçando nas regiões estruturalmente mais baixas, a NW e afinando a SE, na região mais alta. Novamente, os limites inferior e superior são marcados em afogamentos do sistema. Assim como na zona anterior, quando a zona K60-80 é caracterizada como a continuação da subida do nível do mar, é observado o mesmo padrão de sobreposição de litofácies siliciclásticas finas de mar aberto cobrindo a sequência anterior, assim como a continuação do mesmo fluxo turbidítico, o qual se apropriou de um conduto desde a zona K60-50. Ainda estava estabelecida, nas regiões estruturalmente mais altas, a sedimentação mista, siliciclástica/carbonática, de baixa energia associada à plataforma externa.

A zona AlbSup-Ceno representa a consolidação do sistema marinho, encerrando a sedimentação carbonática que existiu na região. Sua isópaca não apresenta relação com baixos ou altos do embasamento, e varia de 40 a 430 m. O limite inferior da sequência não é tão simples de ser marcado pois corresponde a ciclos de afogamento recobrimo ciclos de afogamento da sequência anterior. E o topo é marcado em uma mudança do estilo dos perfis de raios gama e de Vp. Como um todo, é constituída por litofácies siliciclásticas finas de baixa energia, que atestam a subida do nível do mar nessa época de deposição. Apenas no poço P-33 litofácies turbidíticas foram depositadas em uma feição que aparenta ter sido um canion desenvolvido antes da elevação relativa do nível do mar, à época da deposição da zona K60-50.

A seção sísmica *dip* norte (Figura 57) se localiza a NE da seção *dip* centro, na região norte da Bacia de Santos. A projeção ortogonal dos poços varia de 0,4 a 28 Km. Sua extremidade NW já está em região intermediária da bacia, estruturalmente mais baixa, passando por uma série de altos relativos até sua extremidade SE. Em relação aos domínios estruturais gerados pela halocinese (Figura 3), os evaporitos salinos aparecem na forma de alguns grandes diápiros até culminar em uma grande e contínua muralha na porção distal, na extremidade SE. Na extremidade NW, os refletores Albianos-Cenomanianos são normalmente contínuos, plano paralelos, com pouca variação de espessura (a exceção da zona K60-20). Falhas normais formando *semigrabens* foram interpretadas. Na região da grande e contínua muralha de sal se observam camadas contínuas e paralelas, com espessura reduzida, onde litofácies carbonáticas foram encontradas em poços perfurados, evidenciando que altos estruturais criados pela tectônica salífera propiciaram ambientes com condições ambientais favoráveis a sedimentação carbonática. Próximo ao poço P-28, é observada a Falha de Cabo Frio, e uma seção de 10 Km com ausência de estratos Albianos-Cenomanianos, relacionada ao *Gap* do Albiano.

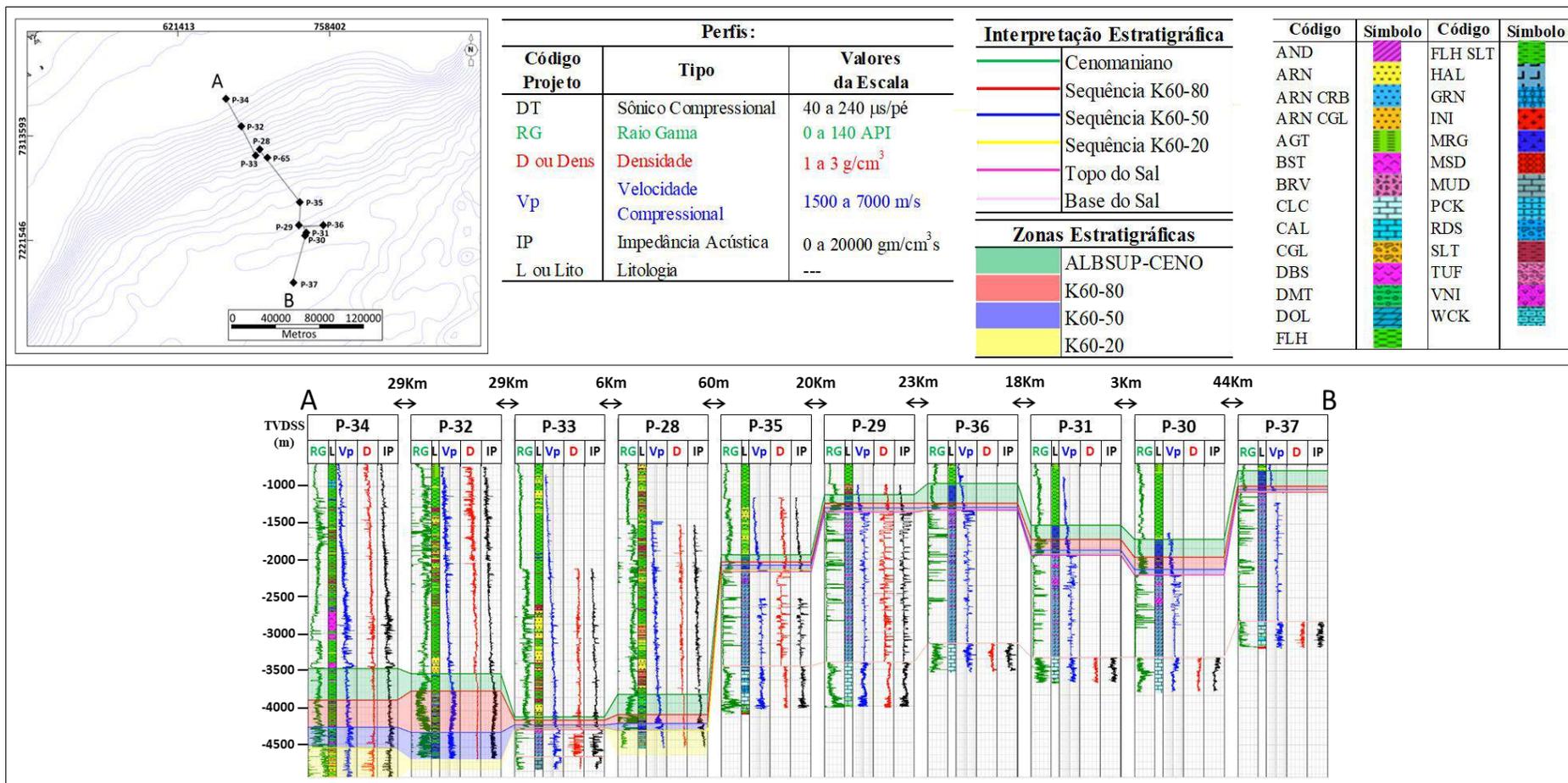


Figura 55 - Seção estratigráfica *dip* norte, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Zona	DIP NORTE										
	Poço	P-34	P-32	P-33	P-28	P-35	P-29	P-36	P-31	P-30	P-37
AlbSup_Ceno		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA
K60-80		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA
K60-50		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA
K60-20		COSTEIROS GROSSEIROS	---	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA INTERNA - BORDA DE BANCO	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA					

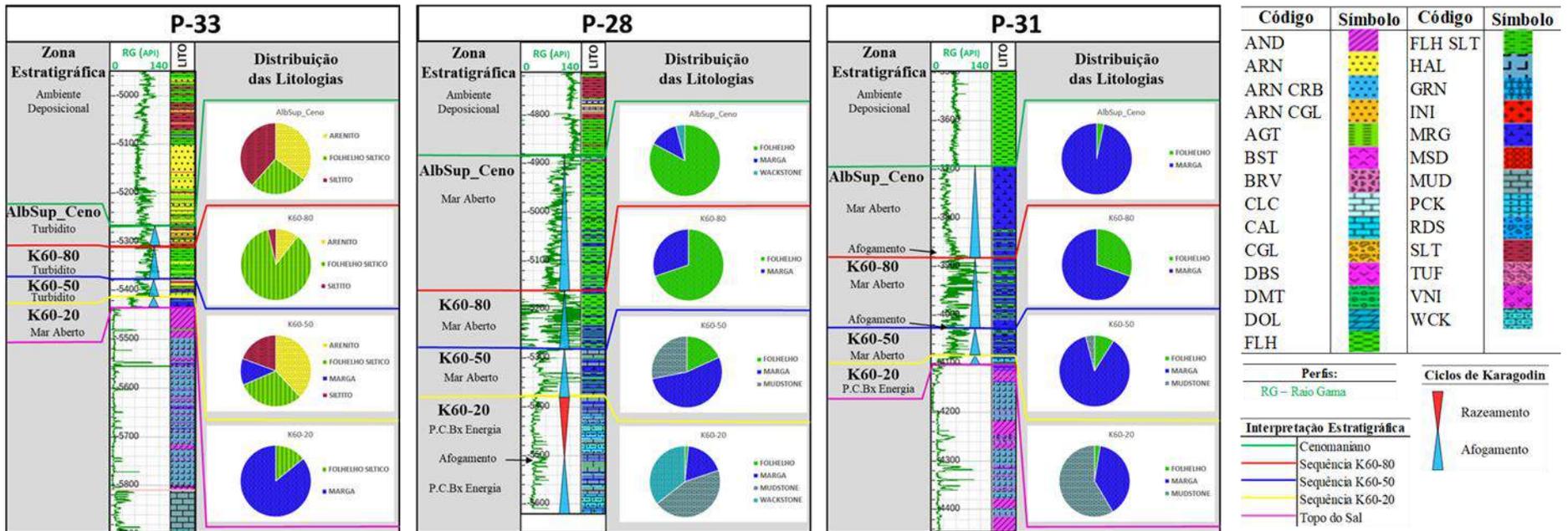


Figura 56 - Litofácies descritas na seção estratigráfica dip norte, a partir do zoneamento, análise litológica e inferência de ambiente em três poços analisados. Fonte: o Autor.

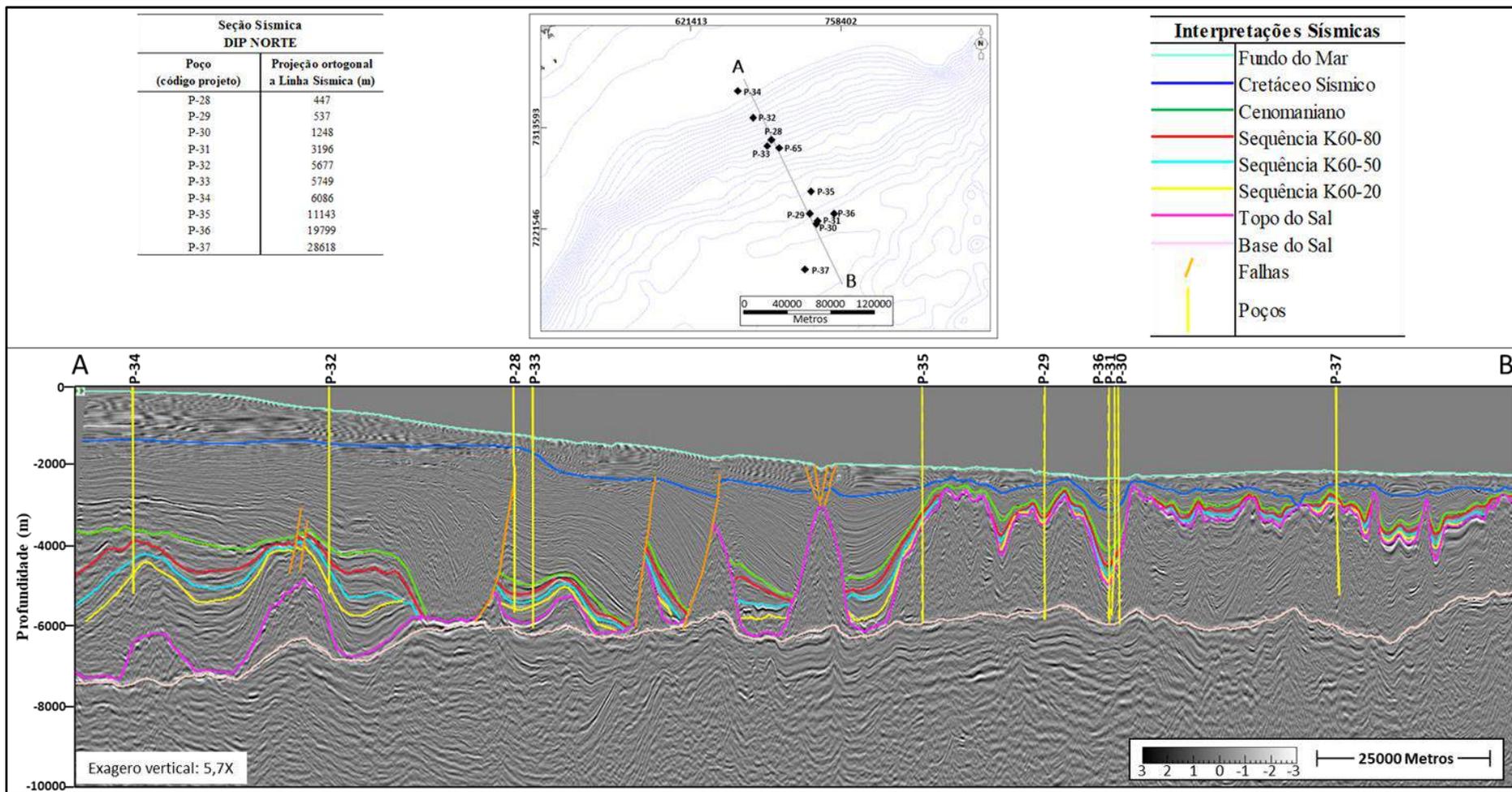


Figura 57 - Seção sísmica *dip* norte contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *dip* norte.

Fonte: o Autor.

### 8.1.3.10 Seção dip extremo norte

A seção estratigráfica *dip* extremo norte está localizada na região do Alto de Cabo Frio (Figura 58), conecta apenas três poços perfurados em águas relativamente rasas, e tem extensão de cerca de 24 Km.

Todos os poços atravessaram as camadas Albianas-Cenomaniana.

Estes poços estão localizados em região proximal, sobre um alto importante do embasamento, o Alto de Cabo Frio, que limita as bacias de Santos e de Campos (Figura 30).

As litofácies interpretadas nos três poços estudados nessa seção podem ser observadas na Figura 59.

A zona K60-20, possui isópaca variando de 27 a 86 m, e as litofácies encontradas variam de plataformar carbonática de baixa energia, lagunar e limítrofe carbonática de alta/baixa energia (banco carbonático e borda externa de banco) e siliciclástica fina de mar aberto. A base da sequência é marcada como o topo dos evaporitos salinos, e o topo está associado a um afogamento relacionado ao início da zona sobrejacente. Não foram observados depósitos siliciclásticos proximais.

A zona K60-50 inicia com um afogamento da zona K60-20 e apresenta um ciclo de raseamento até o topo, representado por um novo afogamento, da base da zona superior. Sua isópaca varia de 70 a 100 m. Basicamente as litofácies presentes são as mesmas da zona subjacente, diferindo no aumento do percentual dos litotipos que estão associados ao razeamento do sistema.

A zona K60-80 está associada à subida do nível do mar, evidenciada também em outras seções. Sua isópaca varia de 130 a 210 m. As litofácies presentes correspondem uma região com deposição carbonática de alta e baixa energia (banco carbonático e borda externa de banco) que grada para siliciclástica fina de mar aberto. Nesta zona é observada a presença de rochas ígneas extrusivas, como basaltos, diabásios ou simplesmente vulcânicas não identificadas, as quais apresentam contrastes de velocidades sísmicas significativos, talvez mais importantes que os impostos pelos carbonatos, ao menos nesta região.

A zona AlbSup-Ceno está associada a um sistema marinho, que combina, sedimentação carbonática de baixa energia com sedimentação siliciclástica fina de mar aberto. Sua isópaca varia de 20 até 130 m, e sua característica mais marcante está novamente na presença das rochas ígneas vulcânicas.

A presença destas rochas ígneas dificulta a marcação de topos e bases das sequências.

A seção sísmica *dip* extremo norte (Figura 60) está posicionada sobre o Alto de Cabo

Frio. Sua extremidade NW corresponde a região proximal, quando é observado o limite de sedimentos cretácicos da bacia (charneira cretácica). Apenas três poços estão amostrados nesta seção, com projeção ortogonal variando de poucos metros até 4,4 Km. A geometria do sal ilustra muito bem a migração de grande parte do sal no sentido *downdip* da bacia. Devido a halocinese, é possível observar dois domínios distintos (Figura 3): o de sal inexistente ou delgado com pequenas almofadas associadas na região proximal, a NW da seção, que se estende do sopé do antigo talude até a antiga região plataformal, e o de sal espesso com formação de grandes diápiros e grandes muralhas na região mais profunda, a SE da seção. Na região proximal, vizinha a charneira cretácica não foram interpretadas rochas das camadas Albianas-Cenomanianas, porém, na região de sal delgado, a SE do antigo talude, foram interpretados refletores em terminações *onlap* com o talude, como sendo das zonas estratigráficas. Estes refletores são contínuos, plano paralelos e sem contrastes significantes de impedância acústica. Eles também terminam em *onlap* contra um grande diápiro, limite dos dois domínios de sal. A partir deste ponto, se observa a predominância das minibacias na região dos grandes diápiros e muralhas, cuja geometria de refletores é paralela, afinando para as extremidades, e apresentando o *stretch* nas bordas devido a ascensão do sal. Sobre algumas grandes muralhas de sal se torna difícil a identificação de refletores sísmicos contínuos e significativos, que se correlacionem às camadas de idades Albiana e Cenomaniana, por vezes não sendo interpretados. Contrastes de amplitudes bem fortes ao longo da seção são associadas às rochas ígneas, as quais foram bem caracterizadas nos três poços perfurados.

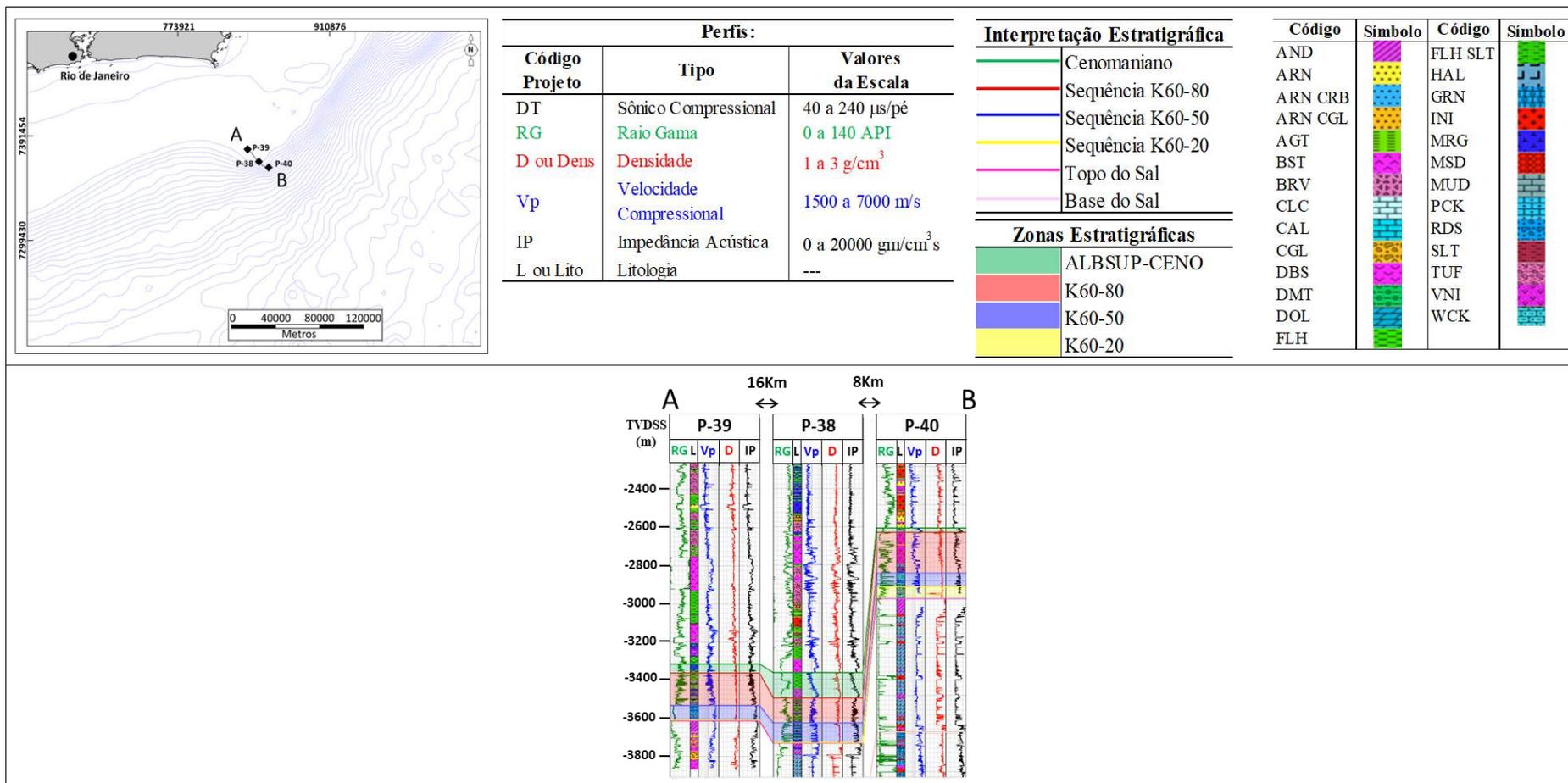


Figura 58 - Seção estratigráfica *dip* extremo norte, com zoneamento proposto em seus poços. Fonte: o Autor.

Seção		DIP EXTREMO NORTE		
Poço		P-39	P-38	P-40
Zona				
AlbSup_Ceno		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA
K60-80		PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA
K60-50		PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO
K60-20		COSTEIROS FINOS	LAGUNA PLATAFORMA INTERNA	PLATAFORMA INTERNA BORDA DE BANCO

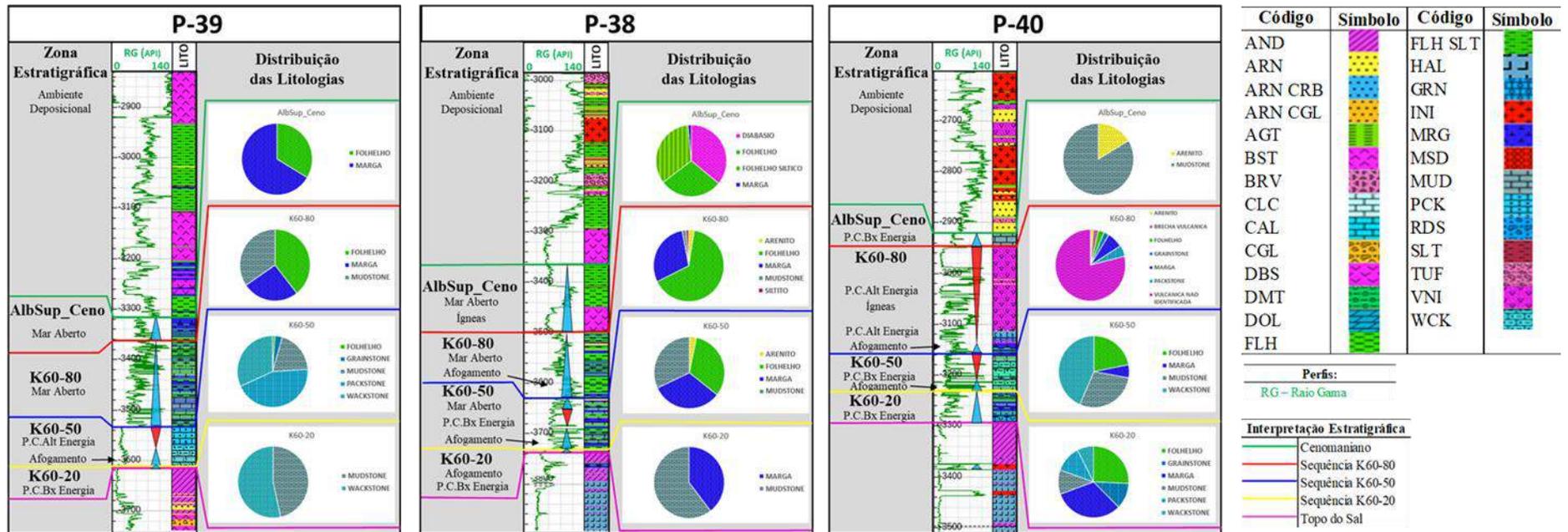


Figura 59 - Litofácies descritas na seção estratigráfica *dip* extremo norte, a partir do zoneamento, análise litológica e inferência de ambiente em três poços analisados. Fonte: o Autor.

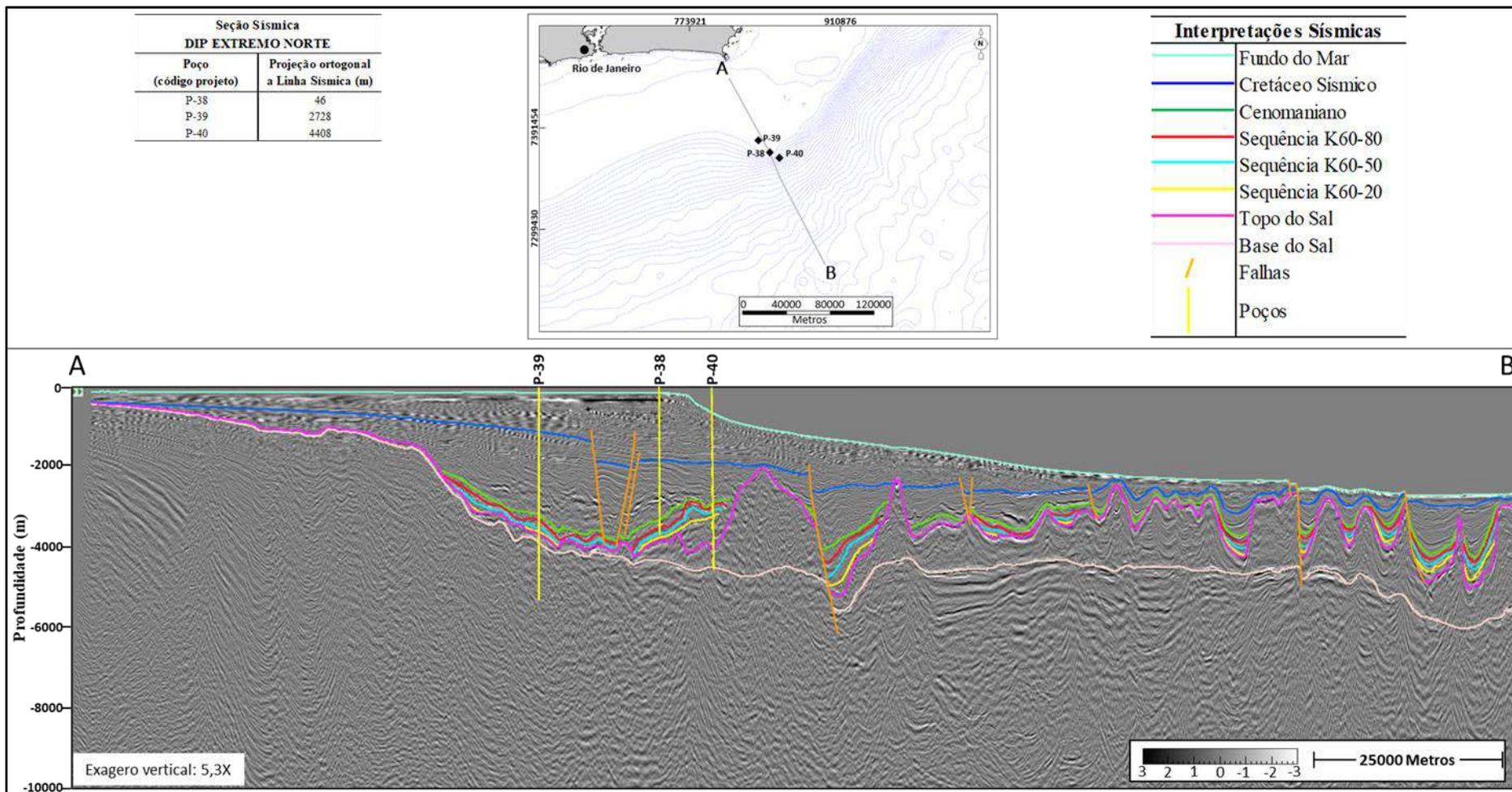


Figura 60 - Seção sísmica *dip* extremo norte contendo os poços próximos projetados, com interpretação proposta de horizontes e falhas, correlacionável a seção estratigráfica *dip* extremo norte. Fonte: o Autor.

## 8.1.4 Mapas de litofácies

### 8.1.4.1 Zona K60-20

De todas as sequências estudadas, esta é a menos conhecida pois foi perfurada pelo menor número de poços. Dos poços estudados, um total de 37 poços atravessaram na totalidade e, 9 poços perfuraram parcialmente esta sequência.

Com base em dados de poços, sua espessura varia consideravelmente, desde alguns metros até cerca de quinhentos metros. Em algumas seções sísmicas interpretadas, sua espessura pode ultrapassar mil metros.

A distribuição das litofácies no mapa (Figura 61) ilustra uma transgressão marinha mais franca, observada nos padrões dos poços, que se assentou sobre os evaporitos salinos, refletindo a subida relativa do nível do mar e, promovendo o início da sedimentação marinha que cobriu toda a bacia.

Na borda da bacia (região proximal) ocorrem sedimentos predominantemente siliciclásticos formando uma faixa que acompanha a linha da charneira cretácica, representados no mapa pelas cores amarela, verde clara e marrom clara, associados a . A faixa mais interna, de cor amarela é representada por arenitos, eventuais conglomerados, e em menor proporção, lamitos. Na faixa intermediária (cor verde), a proporção de lamitos aumenta em relação aos arenitos e os conglomerados desaparecem. E, na faixa de cor marrom, predominam as rochas calco-pelíticas e alguns arenitos eventuais. Conforme ilustrado no mapa, o aporte de sedimentos siliciclásticos que gerou estas rochas foi mais intenso na porção norte da bacia, em área e em espessura. Nesta área, os depósitos siliciclásticos possuem isópaca de algumas centenas de metros, indo mais de 100 km no sentido Sul da bacia.

Predominantemente na região intermediária da bacia, ao longo de uma área com algumas centenas de quilômetros, ocorrem as rochas carbonáticas, aqui separadas em três grupos: sedimentos de baixa energia, com granulometria mais fina, associadas à regiões mais profundas da bacia (grandes baixos estruturais), sedimentos de baixa energia, com granulometria fina, associadas à regiões mais rasas da bacia e, sedimentos de alta energia, com granulometria mais grossa, associadas à regiões mais elevadas da bacia (altos estruturais). Nas regiões de grandes baixos estruturais do embasamento, encontram-se depósitos carbonáticos, predominantemente *mudstones* e *wackstones*, de centenas de metros com muitas intercalações de margas e lamitos (folhelhos e siltitos), representados no mapa pela cor azul clara com quadrados. Em regiões onde o embasamento não é tão profundo e nem tão elevado, encontram-

se depósitos carbonáticos, predominantemente *mudstones* e *wackstones*, com pouca ou nenhuma intercalação de lamitos e margas. No mapa estão representados pela cor azul mais clara. Em regiões sem poços, foi inferida a presença destes depósitos a partir da fisiografia do embasamento. Constatados em poços, *grainstones* e *packstones*, possuem ocorrência restrita a algumas partes isoladas da bacia, em geral sobre altos estruturais do embasamento. Estão representados no mapa pela cor azul escura, com tijolos. Na região do Alto de Florianópolis, extremo Sul da bacia, foram perfurados alguns poços que constataram a presença de bancos carbonáticos nessa sequência, que se estendem no sentido *downdip* da bacia por alguns quilômetros. Estas litofácies de alta energia se constituem em potenciais reservatórios de hidrocarbonetos. Outras regiões com ocorrências constatadas, sempre associadas à altos do embasamento, são em um alto estrutural no sentido *strike*, ao longo da borda central da bacia, em algumas áreas do norte da bacia, no Alto de Cabo Frio e em um flanco de um imponente alto estrutural na região distal da bacia. Essa comprovada associação com altos estruturais levou a inferência da presença destas rochas carbonáticas de alta energia sobre algumas regiões não perfuradas, como o Alto de Cabo Frio e diversos outros altos estruturais. Como já mencionado, as litofácies inferidas tem uma alta correlação com a profundidade do embasamento. Entretanto, em algumas regiões da bacia, existe a correlação destas litofácies com o soerguimento de grandes diápiros de sal, principalmente na região intermediária/distal, onde o topo do embasamento não é tão proeminente.

Representadas no mapa pela cor verde escura, litofácies depositadas em condições de mar profundo na plataforma externa e bacia ocorrem em algumas regiões da porção distal da bacia. Essas litofácies são representadas basicamente por folhelhos e margas e, em alguns casos podendo apresentar *mudstones* intercalados.

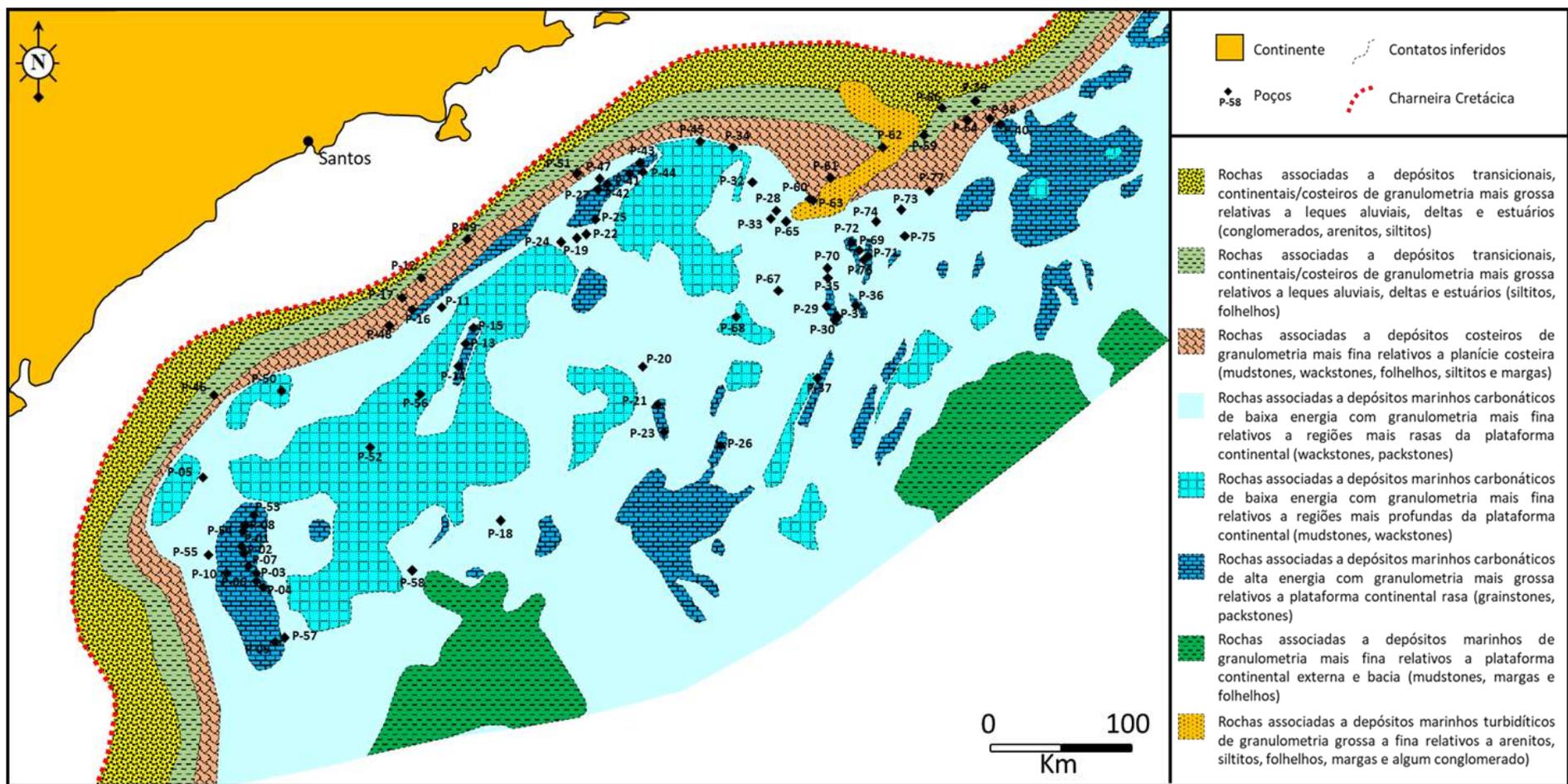


Figura 61 - Mapa de litofácies da zona estratigráfica K60-20 da Bacia de Santos. Distribuição das litofácies interpretadas nos poços e inferidas a partir da combinação mapa do topo do embasamento, correlação entre poços e interpretação sísmica das linhas 2D para a zona estratigráfica K60-20. Fonte: o Autor.

#### 8.1.4.2 Zona K60-50

Um número maior de poços atingiu esta zona estratigráfica, se comparado com o número de poços que perfurou a zona K60-20. Esta zona foi atravessada, na totalidade, por 46 poços e perfurada parcialmente por outros 19 poços.

Em geral, o zoneamento dos poços indica que a espessura esta zona varia de poucos metros até cerca de quinhentos metros, com exceção de três poços, que atravessaram esta sequência e constataram espessuras da ordem de 850 m, todos na porção centro-norte da bacia. Dois deles associados ao depósito turbidítico na porção norte e um associado a um empilhamento carbonático, descritos a seguir. Nas seções sísmicas interpretadas, sua espessura tem um caráter mais “comportado” que a da zona K60-20, aparentemente, apresentando variação lateral menor.

Inicialmente, a distribuição das litofácies no mapa ilustra uma nova transgressão marinha que teria se assentado sobre a sequência K60-20. Entretanto, em grande parte dos poços analisados, a primeira fase da sedimentação representa um evento transgressivo constatado pela deposição de sedimentos finos, como folhelhos e margas, sobre os depósitos de rochas carbonáticas da sequência anterior. A seguir, se observa um padrão de empilhamento regressivo, principalmente na porção sul da bacia e, não tão evidente na porção norte, constatado por um ciclo de raseamento em direção ao topo. Assim, após o evento transgressivo inicial, iniciou-se uma progradação de sedimentos costeiros bacia adentro com aporte sedimentar maior nas regiões sul e extremo sul e menor nas regiões centro, norte e extremo norte, evidenciado pela posição das litofácies interpretadas.

A Figura 62 ilustra a distribuição das litofácies da sequência K60-50.

Assim como na sequência K60-20, é observada, no mapa, uma faixa de sedimentos predominantemente siliciclásticos paralelos a borda da bacia acompanhando a linha da charneira cretácica, representados no mapa pelas cores amarela, verde clara e marrom clara. Estes sedimentos representam a sedimentação proximal associada à ambientes deltáicos, estuarinos ou costeiros de praias. A faixa de cor amarela corresponde a sedimentos mais grosseiros representada por arenitos, conglomerados e alguns lamitos, a faixa de cor verde, a sedimentos mais finos, normalmente lamitos e secundariamente arenitos e, finalmente, a faixa de cor marrom, representa sedimentação lagunar ou de plataforma interna, onde predominam as rochas calco-pelíticas e alguns arenitos. Conforme observado no mapa, o aporte de sedimentos siliciclásticos que gerou estas rochas foi mais intenso na porção sul da bacia, onde ocorre uma migração destas faixas em direção a bacia, corroborando o sistema regressivo. Nas

regiões proximais central e norte, ocorreu um aporte menor de sedimentos siliciclásticos pois esta faixa se torna mais estreita. Entretanto, na região norte, da mesma maneira que na sequência anterior, ocorreu um grande aporte de sedimentos siliciclásticos, arenoso e lamoso, que se depositou como resultado de um fluxo turbidítico que se projetou bacia adentro (cor laranja no mapa).

Indo em direção a região intermediária da bacia, se observa a coexistência de sedimentos carbonáticos (de alta e baixa energia) com sedimentos siliciclásticos finos. Uma faixa de produção carbonática de sedimentos finos, como *mudstones* e *wackstones*, às vezes intercaladas a margas e folhelhos, está presente em contato com os sedimentos lagunares, ao longo da bacia (representada no mapa pela cor azul clara). Estas rochas foram constatadas em alguns poços e, inferidas, onde a profundidade do topo do embasamento não era tão grande, ou seja, em regiões onde a batimetria não era tão pronunciada, na borda da bacia e nos entornos dos altos estruturais isolados, às vezes, compondo as bordas internas e externas de bancos carbonáticos de alta energia. Da mesma maneira que na sequência anterior, e, aproximadamente nas mesmas regiões, sedimentos carbonáticos de alta energia representados pelos *grainstones* e *packstones* foram constatados e/ou inferidos (no mapa, com cor azul escura com tijolos). Estes depósitos estão pontualmente presentes no Alto de Florianópolis, no extremo sul da bacia, na região do alto proximal, no setor central, no Alto de Cabo Frio, em altos estruturais isolados nas regiões intermediária e distal e, em algumas áreas sobre os grandes diápiros e muralhas de sal, onde o *timing* entre o soerguimento dos diápiros/muralhas salinos e da deposição da sequência foi propício.

Ainda na região intermediária, lateralmente aos carbonatos e, quase que na totalidade da região distal, se encontram sedimentos de granulação fina como margas e folhelhos. Intercalações de ciclos, às vezes bem difíceis de serem individualizados se empilham em um padrão deposicional distal. Mesmo com o caráter regressivo instalado (e observado em algumas regiões) na bacia, em algum momento da deposição desta sequência, nestas regiões, a batimetria, já maior, propiciou apenas a deposição de ciclos sedimentos finos.

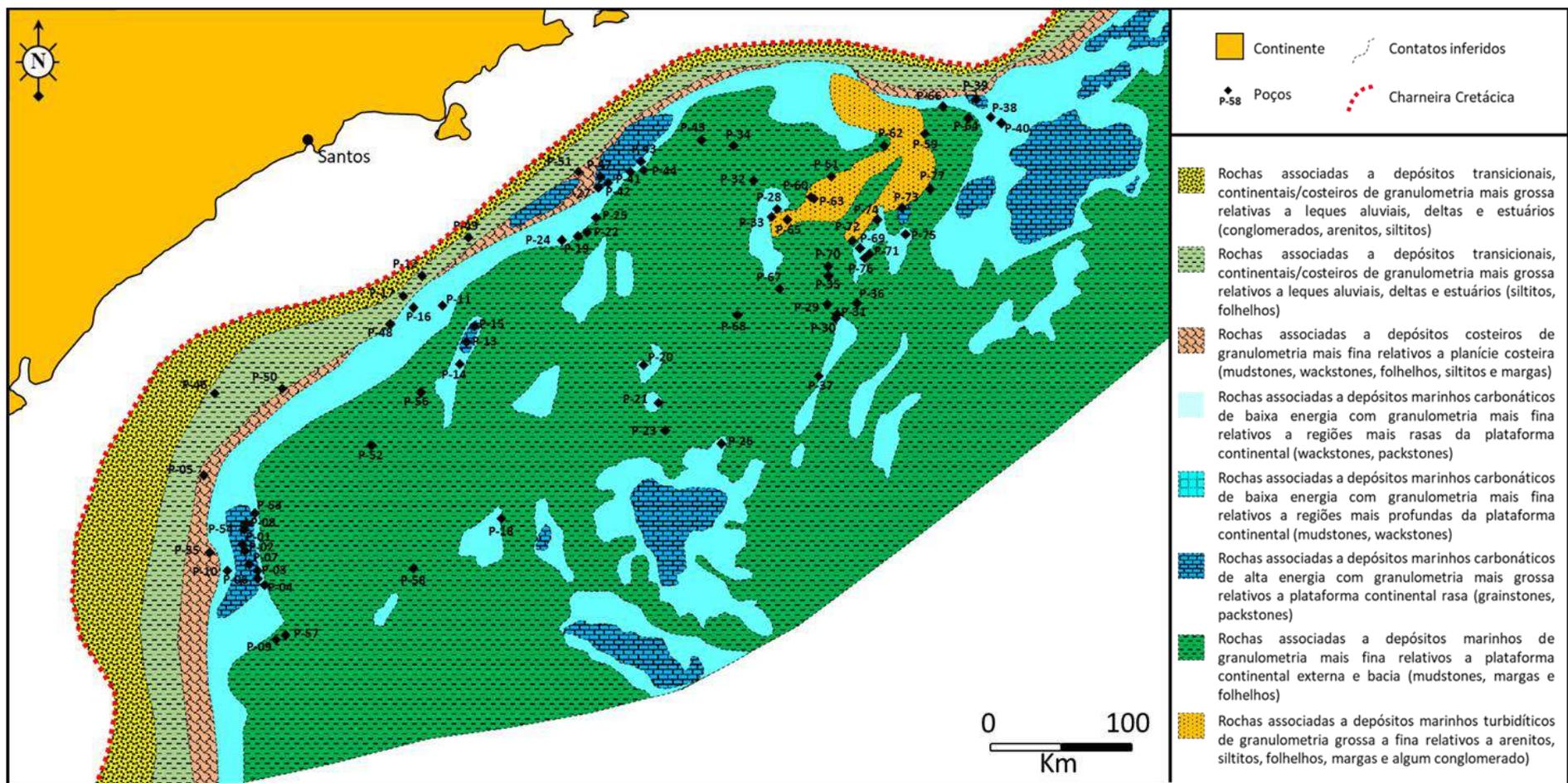


Figura 62 - Mapa de litofácies da zona estratigráfica K60-50 da Bacia de Santos. Distribuição das litofácies interpretadas nos poços e inferidas a partir da combinação mapa do topo do embasamento, correlação entre poços e interpretação sísmica das linhas 2D para a zona estratigráfica K60-50. Fonte: o Autor.

### 8.1.4.3 Zona K60-80

O número de poços que perfurou ou atingiu a zona estratigráfica K60-80 é bem maior que o das sequências anteriores. 65 poços atravessaram completamente esta sequência enquanto apenas 9 a atravessaram parcialmente.

As espessuras desta zona variam de poucas dezenas de metros até cerca de setecentos metros, estando os maiores valores associados aos grandes baixos estruturais do embasamento.

A Figura 63 ilustra a distribuição das litofácies da sequência K60-80.

Similar a zona estratigráfica K60-50, esta zona se inicia com um novo evento transgressivo, onde sedimentos finos se depositaram, seguido de novo ciclo regressivo, de raseamento para o topo, com nova fase de progradação de sedimentos.

Da mesma maneira que nas zonas anteriores, observa-se, no mapa desta zona, a faixa de sedimentos predominantemente siliciclásticos que acompanha a linha da charneira cretácica, ilustrada no mapa pelas cores amarela, verde clara e marrom clara, representando a sedimentação proximal relacionada a ambientes deltáicos, estuarinos ou costeiros de praias. A região em amarelo corresponde a sedimentos predominantemente grosseiros composta por arenitos, conglomerados e alguns lamitos, enquanto a região em verde claro, representa sedimentos mais finos, composta por lamitos e secundariamente arenitos e, a porção em marrom, representa sedimentação lagunar ou de plataforma interna, com predominância de rochas calco-pelíticas e alguns arenitos. O aporte sedimentar siliciclástico durante a deposição desta zona foi contínuo na porção sul da bacia, com manutenção das faixas desde a sequência K60-50. Contudo, nas regiões proximais central e norte, este aporte de sedimentos foi ainda menor que o da sequência anterior pois esta faixa se torna mais ainda mais estreita, chegando a desaparecer antes do Alto de Cabo Frio. Na região norte, não foi observado o sistema turbidítico que havia se instalado durante as sequências K60-20 e K60-50.

Similar ao que ocorreu durante a deposição da zona estratigráfica K60-50 na região intermediária da bacia, observa-se a variação lateral faciológica entre sedimentos carbonáticos (de alta e baixa energia) e sedimentos siliciclásticos finos. Em contato com os sedimentos lagunares, a oeste, é observada a faixa com rochas carbonáticas de baixa energia composta predominantemente por *mudstones* e *wackstones*, normalmente intercaladas a margas e folhelhos (representada no mapa pela cor azul clara com quadrados). A partir da constatação em alguns poços, estas rochas foram inferidas em algumas regiões, tendo como base, o mapa do topo do embasamento. Essas áreas inferidas aparecem onde a profundidade do embasamento não era tão acentuada como nos grandes baixos estruturais e, nas bordas internas e externas dos

altos estruturais isolados. Os sedimentos carbonáticos de alta energia representados pelos *grainstones* e *packstones* foram constatados no extremo sul da bacia, sobre o Alto de Florianópolis, no extremo sul da bacia, na região do no alto estrutural proximal, no setor central, e, localmente no Alto de Cabo Frio, no extremo norte. (no mapa, com cor azul escura com tijolos). As regiões no mapa sem ocorrência de poços foram inferidas utilizando o mapa de topo do embasamento. Apenas em regiões bem elevadas, em altos estruturais isolados nas regiões intermediária e distal e, em algumas áreas sobre os grandes diápiros e muralhas de sal, foi especulada a presença dos sedimentos carbonáticos de alta energia.

A deposição desta sequência nas regiões intermediária e distal é muito similar à da sequência anterior. Tanto, lateralmente aos carbonatos na região intermediária e na região distal, são observados sedimentos de granulação fina. Na parte distal da bacia, esta sequência se caracteriza, predominantemente, por uma alternância de camadas de folhelho de marga (cor verde escura no mapa). Em algumas regiões mais elevadas do embasamento foi inferida a presença de rochas carbonáticas de granulometria grossa, representada por *grainstones* e *packstones* (cor azul escura com tijolos), circundada por rochas de granulometria mais fina, como *mudstones* e *wackstones* (cor azul clara com quadrados no mapa).

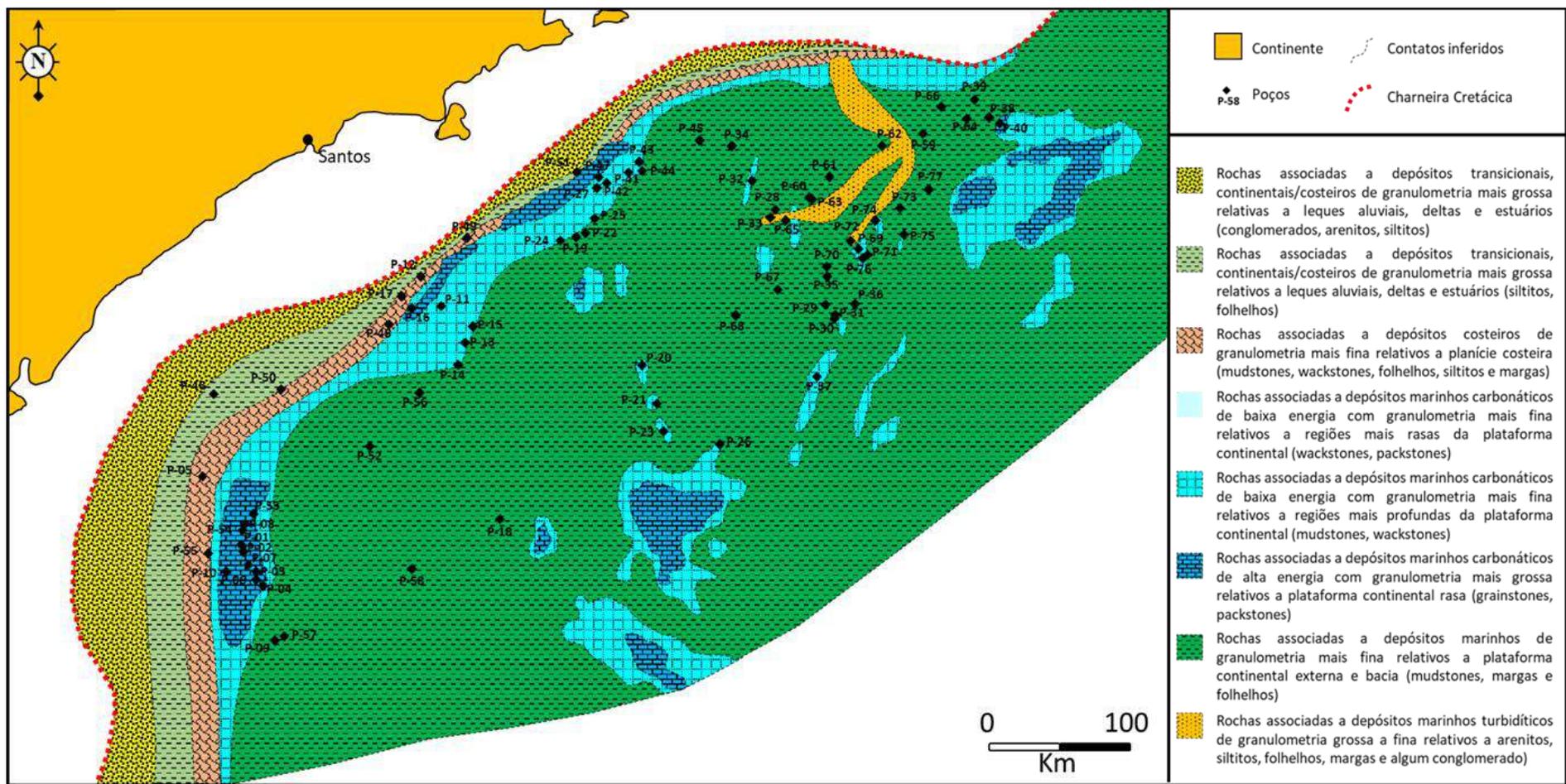


Figura 63 - Mapa de litofácies da zona estratigráfica K60-80 da Bacia de Santos. Distribuição das litofácies interpretadas nos poços e inferidas a partir da combinação mapa do topo do embasamento, correlação entre poços e interpretação sísmica das linhas 2D para a zona estratigráfica K60-80. Fonte: o Autor.

#### 8.1.4.4 Zona AlbSup-Ceno

A zona estratigráfica AlbSup-Ceno foi perfurada na totalidade por 74 poços e parcialmente por apenas 3 poços, sendo assim, a mais bem amostrada dentre todas.

As espessuras desta zona variam de poucas dezenas de metros até cerca de 970 m com média da ordem de 260 m.

A Figura 64 ilustra a distribuição de litofácies da sequência AlbSup-Ceno.

Diferentemente das sequências anteriores, esta zona estratigráfica corresponde a um importante evento transgressivo, onde sedimentos finos, predominantemente siliciclásticos, avançaram e se depositaram em quase toda a bacia.

Na região proximal, acompanhando a linha da charneira cretácica, observa-se a faixa de sedimentos predominantemente siliciclásticos, ilustrada no mapa pelas cores amarela, verde clara e marrom clara, representando a sedimentação relacionada aos ambientes deltáicos, estuarinos ou costeiros de praias. No extremo norte da bacia, estas litofácies não foram observadas nos poços, assim, elas foram truncadas antes dessa região. O aporte sedimentar siliciclástico que era maior desde a sequência K60-50, na porção sul da bacia, continuou durante a deposição desta zona mantendo a dimensão lateral das faixas desde a sequência K60-80. Contudo, nas regiões proximais norte e extremo norte, este aporte de sedimentos foi ainda menor que o da sequência anterior, chegando a desaparecer antes do Alto de Cabo Frio. A faixa em amarelo corresponde aos sedimentos mais grosseiros representada por arenitos e conglomerados e raramente, lamitos, enquanto a faixa em verde claro, representa sedimentos mais finos, como lamitos e secundariamente arenitos e, a faixa em marrom, representa sedimentação lagunar ou de plataforma interna, com predominância das rochas calco-pelíticas e raramente arenitos. Também como na sequência anterior, na região norte, ocorre o sistema turbidítico que havia se instalado durante as sequências anteriores, mas, com menor expressão areal.

Com a subida do nível do mar, observa-se a predominância das litofácies siliciclásticas finas já a partir da região intermediária da bacia, onde intercalações de folhelhos e margas são encontradas (cor verde escura no mapa). Muito restrito a alguns locais, sedimentos carbonáticos de baixa energia (cor azul clara com quadrados no mapa), como *mudstones* e *wackstones*, às vezes intercaladas a margas e folhelhos, foram constatados em poços, como nas regiões central e norte da bacia. Estes carbonatos também foram também inferidos quando associados a alguns altos do embasamento.

Na região distal se observa predominantemente, por uma alternância de camadas de folhelho de marga (cor verde escura no mapa) em resposta do aumento da batimetria da bacia. Assim como na região intermediária, mas, sem constatação em poços, foi inferida a presença de rochas carbonáticas de granulometria mais fina, como *mudstones e wackstones* (cor azul clara com quadrados no mapa), relacionadas aos grandes altos na região distal.

Não foram constatados ou inferidos sedimentos carbonáticos de alta energia (*grainstones e packstones*) em nenhuma região da bacia. Nada foi constatado em poços e, considerou-se que a batimetria da bacia já não era propícia para a formação destes depósitos, mesmo sobre os altos estruturais do embasamento.

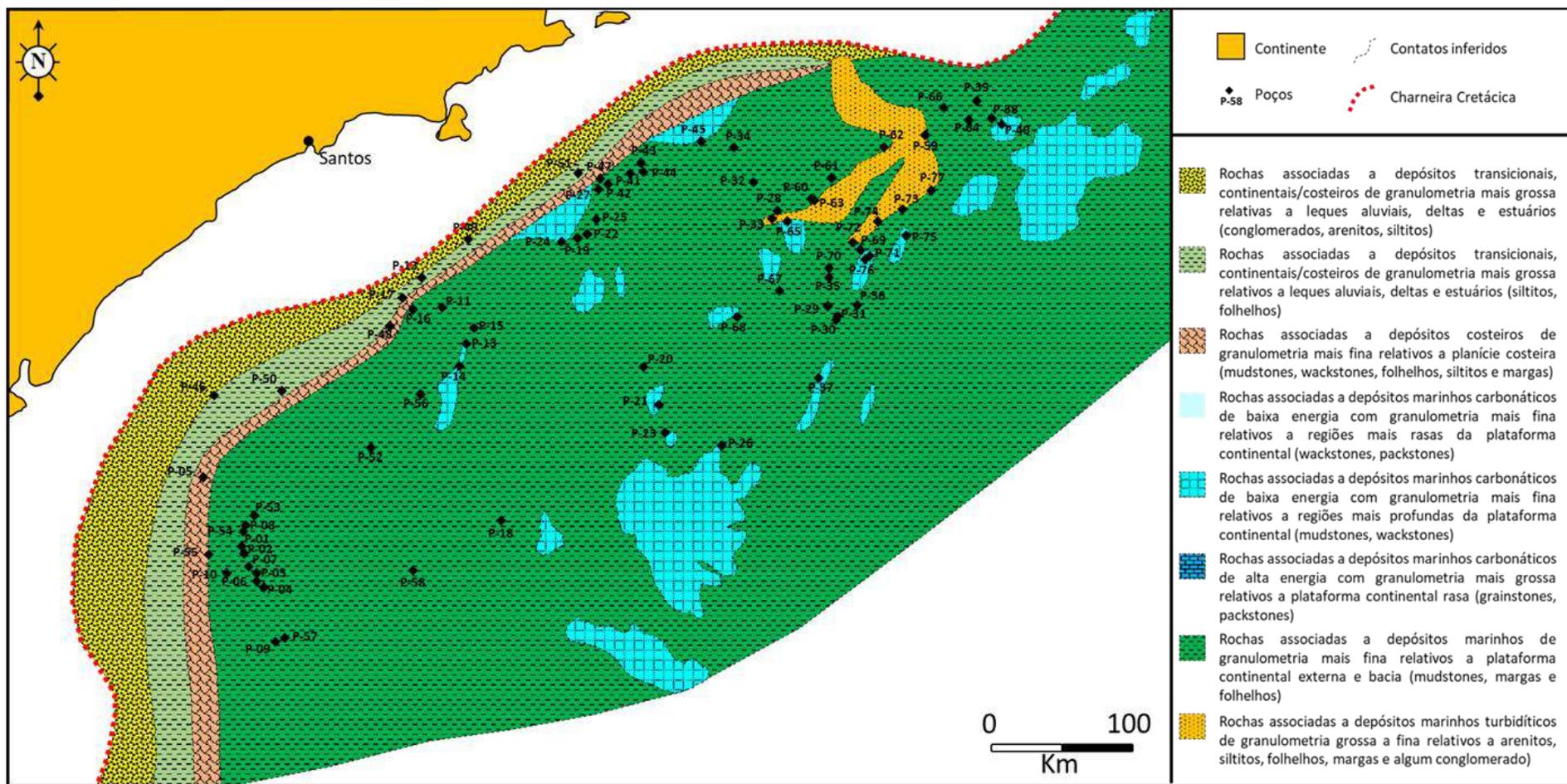


Figura 64 - Mapa de litofácies da zona estratigráfica AlbSup-Ceno da Bacia de Santos. Distribuição das litofácies interpretadas nos poços e inferidas a partir da combinação mapa do topo do embasamento, correlação entre poços e interpretação sísmica das linhas 2D para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno. Fonte: o Autor.

### 8.1.5 Discussão

O detalhamento geológico, que inclui o zoneamento estratigráfico, a correlação entre poços, a análise e o agrupamento de litofácies, e a interpretação sísmica, possibilitaram a individualização de quatro zonas estratigráficas, de idades Albiano-Cenomaniano, nas quais, posteriormente, foram realizados estudos estatísticos e de modelagem geológica da Vp.

As zonas, aqui nomeadas como K60-20, K60-50 e K60-80 correspondem às três sequências de terceira ordem estratigráfica, depositadas no Albiano Inferior/Médio, pertencentes a sequência K60 (Moreira *et al.*, 2007), e, a zona denominada AlbSup-Ceno, corresponde a uma unidade indivisa, englobando às sequências K70, depositada no Albiano Superior e, K82-86, depositadas no Cenomaniano (Figura 18). Formalmente, em concordância com [Moreira \*et al.\* \(2007\)](#), todas as unidades estudadas pertencem ao Grupo Camburi, o qual é subdividido em três principais formações geológicas: a Formação Florianópolis, que representa a sedimentação proximal predominantemente siliciclástica, que ocorreu em todo o intervalo estudado, não sendo restrito a uma sequência específica; a Formação Guarujá, que representa a porção basal e média da sequência K60 caracterizada, principalmente, pela plataforma carbonática propriamente dita; e a Formação Itanhaém, representada pelo topo da sequência K60 e pelas sequências K70 e K82-86, denotando o afogamento da plataforma carbonática pela sedimentação marinha posterior ([Dias-Brito 1982, 1987 in Guerra & Underhill, 2012](#)).

Evidenciado pelos padrões de empilhamento e ciclicidade e, pela análise litológica, as quatro zonas estratigráficas correspondem a uma grande transgressão marinha que se instalou na bacia, imediatamente sobre os evaporitos salinos Aptianos, em consonância com o descrito em [Spadini \*et al.\* \(1988\)](#), [Guardado \*et al.\* \(1989\)](#), [Moreira \*et al.\* \(2007\)](#) e [Waisman \*et al.\* \(2019\)](#). Autores como [Spadini \*et al.\* \(1988\)](#), [Viviers & Azevedo \(1988\)](#), [Guardado \*et al.\* \(1989\)](#), [Azevedo \(2004\)](#), [Waisman \*et al.\* \(2019\)](#) enfatizam que, a distribuição areal e o empilhamento das litofácies evidencia variação lateral desde um ambiente transicional, na borda da bacia, para um ambiente marinho com desenvolvimento de plataforma carbonática em rampa com borda. Isto está de acordo com as associações de litofácies descritas nesta pesquisa, cujo posicionamento relativo em cada unidade, permitiu a identificação de nove subambientes deposicionais distribuídos lateralmente ao longo da bacia: (1) planície costeira, com deposição de sedimentos de granulometria grosseira, (2) planície costeira, com deposição de sedimentos de granulometria fina, (3) plataforma interna de baixa energia (laguna, planície de maré), (4) plataforma interna de baixa energia (borda interna de banco carbonático), (5) banco carbonático, (6) plataforma externa de baixa energia (borda externa de banco carbonático), (7)

plataforma externa – bacia, (8) um depósito que se assemelha a um canal turbidítico e (9) bacia. Como observado em [Waisman et al. \(2019\)](#), a evolução do sistema como um todo, reflete uma subida relativa do nível do mar, desde o Albiano Inferior até o Turoniano Médio, porém, com períodos de razeamento, principalmente no Albiano Inferior. As associações de litofácies definidas nesta pesquisa e, seu posicionamento relativo no modelo deposicional descrito, estão de acordo com os modelos deposicionais para plataformas em rampa, com bordas, de [Tucker & Wright \(1991\)](#) (Figura 9) e, de [Schlager \(2002\)](#) (Figura 10).

Baseado no conteúdo fossilífero das sucessões siliciclásticas-carbonáticas da Formação Pirabas, na Plataforma Bragantina, a NE do estado do Pará, [Amorim \(2016\)](#) propôs o modelo de plataforma carbonática rasa, com alta produtividade orgânica e desenvolvimento de barreiras bioclásticas/*front shoal*, lagunas de conexão restrita com o mar aberto através de *tidal inlets*, além do desenvolvimento de *tidal flats*. Os grupos de litofácies descritos nesta pesquisa, bem como sua posição relativa, estão plenamente de acordo com o modelo utilizado por esta autora. A Figura 65 apresenta o posicionamento dos agrupamentos de litofácies identificados nessa pesquisa, por sobre o modelo deposicional de [Amorim \(2016\)](#).

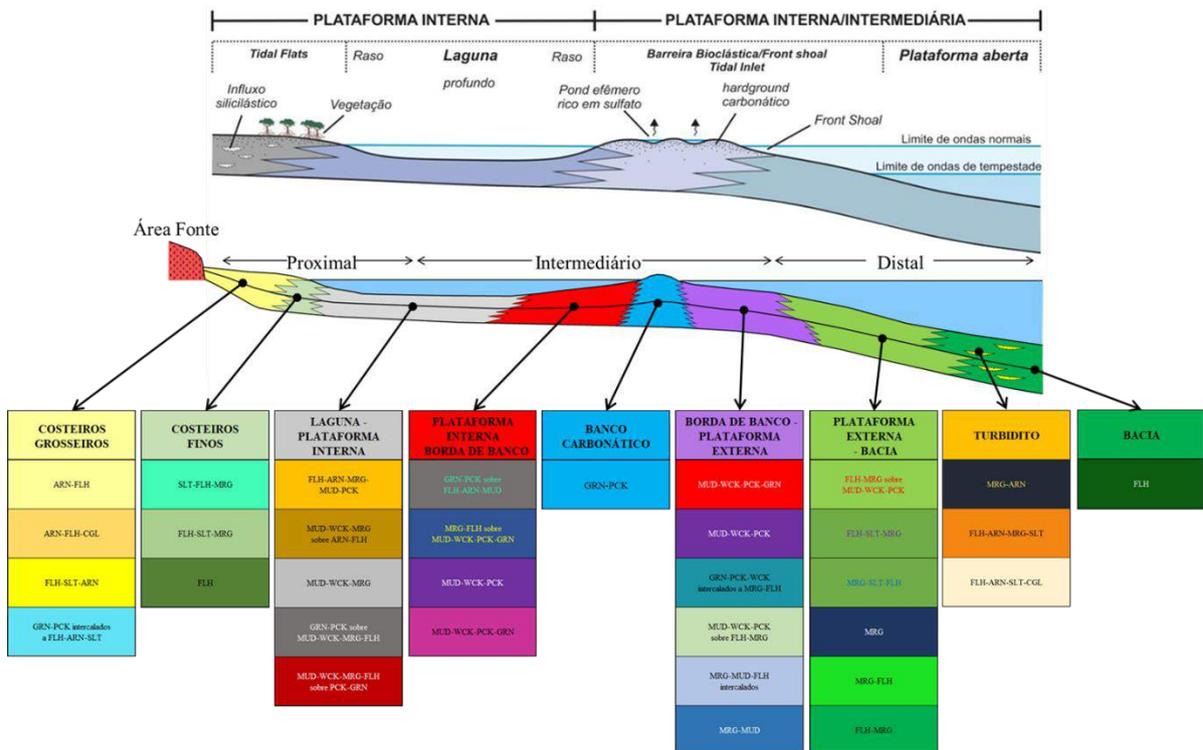


Figura 65 - Relação das litofácies descritas com o modelo deposicional adotado. Posicionamento relativo das litofácies descritas nesta pesquisa, sobre o modelo deposicional conceitual. Fonte: Amorim, 2016, modificado pelo Autor.

As unidades K60-20, K60-50 e K60-80, descritas neste projeto, são correlatas a Macaé Inferior ([Spadini et al., 1988](#)), enquanto a unidade AlbSup-Ceno, se correlaciona com a Macaé Superior ([Spadini et al., 1988](#)). A unidade K60-20 corresponde a seção basal da Formação Macaé Inferior, as unidades K60-50 e K60-80 são associadas à seção superior da Formação Macaé Inferior e, a sequência AlbSup-Ceno corresponde à Formação Macaé Superior.

A região de deposição na bacia exerce influência direta na litologia das rochas encontradas nos poços e, por consequência, no zoneamento estratigráfico realizado. Observou-se nos poços que, lateralmente para Oeste, em direção a costa, toda a seção Albiana-Cenomaniana grada para sedimentos predominantemente siliciclásticos de mesma idade, correlacionados aos depósitos costeiros, deltaicos, estuarinos, lagunares e de praia, compostos por arenitos, conglomerados, siltitos e folhelhos, descritos por diversos autores, como [Chang et al. \(1988\)](#), [Spadini et al. \(1988\)](#), [Viviers & Azevedo \(1988\)](#), [Guardado et al. \(1989\)](#), [Chang et al. \(1992\)](#), [Moreira et al. \(2007\)](#) e [Waisman et al. \(2019\)](#). [Moreira et al. \(2007\)](#), descreve a Formação Florianópolis, como a sedimentação proximal predominantemente siliciclástica. Segundo [Waisman et al. \(2019\)](#), estas rochas são identificadas como depósitos aluviais, fluviais, de delta, de estuário e/ou de praia, desde os trabalhos geológicos pioneiros da Bacia de Santos.

Os modelos deposicionais propostos para a Bacia de Campos ([Spadini et al., 1988](#), [Viviers & Azevedo, 1988](#), [Guardado et al., 1989](#)) são aplicáveis a Bacia de Santos pois a gênese dos estratos Albanos e Cenomanianos é bastante similar nas duas bacias. As principais diferenças estão na espessura das camadas Albanas-Cenomanianas e, na espessura das camadas evaporítica subjacentes, cuja tectônica, subdivide a bacia em domínios bem estabelecidos.

Conforme [Spadini et al. \(1988\)](#), a mudança da condição ambiental pós evaporítica, bastante rasa, favoreceu a instalação do sistema Macaé, fato constatado nesta pesquisa, pela identificação e individualização da zona estratigráfica K60-20, a qual exhibe ampla distribuição de litofácies carbonáticas em toda a bacia. Ainda segundo estes autores, nas porções mais profundas da bacia se depositaram mudstones, o que levou a separação de dois tipos de carbonatos de granulometria fina, nos mapas de litofácies, principalmente da zona K60-20, um associado a áreas mais rasas e outro associado a áreas mais profundas. De acordo com os modelos deposicionais de rampas carbonáticas com bordas de [Schlager \(2002\)](#), [Tucker & Wright \(1991\)](#) e [Amorin \(2016\)](#), desenvolvidas em ambiente nerítico raso, e os propostos por [Guardado & Spadini \(1987\) in Spadini et al. \(1988\)](#), [Spadini et al. \(1988\)](#) para a Bacia de Campos, na plataforma interna ocorre a deposição de litofácies finas (peloidais) além da

formação e evolução de bancos de alta energia (*shoals* oolíticos), os quais são bastante influenciadas pela fisiografia resultante da sequência anterior. Estes cinturões formados pelos bancos tem um caráter agradacional com predominância de *grainstones* oolíticos/oncolíticos e *packstones* frequentemente submetidos a condições meteóricas que podem propiciar intensa cimentação além do desenvolvimento de feições cársticas e ambientes tipo *sabkha*. Os altos estruturais relativos sempre se constituíram em regiões atrativas para a formação dos bancos carbonáticos de alta energia, como os descritos como bancos carbonáticos agradacionais (*shoals* oolíticos-oncolíticos) em [Spadini et al. \(1988\)](#), [Viviers & Azevedo \(1988\)](#) e [Guardado et al. \(1989\)](#). Com a subida relativa do nível do mar, já no Albiano médio, durante a deposição das zonas K60-50 e K60-80, os depósitos carbonáticos ficaram mais restritos as porções mais rasas da plataforma e, a estes altos estruturais relativos, nas regiões intermediária e distal. Durante o intervalo Albiano Superior-Cenomaniano, a bacia foi submetida a uma contínua subida do nível do mar, levando o ambiente marinho a condições neríticas profundas a batiais ([Viviers & Azevedo, 1988](#)), o qual praticamente encerrou a produção carbonática observada no Albiano Inferior-Médio. Durante a deposição da zona AlbSup\_Ceno, a deposição carbonática associada à baixa energia ficou restrita a porções mais altas da plataforma, na região proximal e, inferida em altos estruturais intermediários e distais. Na região distal, com exceção da zona K60-20, cuja extensão da plataforma carbonática foi bastante ampla, nas demais zonas, predominam as litofácies mais finas, siliciclásticas e/ou mistas (carbonáticas-siliciclásticas), porém podem ocorrer litofácies carbonáticas muito finas associadas à baixa energia, em associação com as descrições de [Spadini et al. \(1988\)](#), [Viviers & Azevedo \(1988\)](#), [Guardado et al. \(1989\)](#), [Moreira et al. \(2007\)](#) e [Waisman et al. \(2019\)](#).

O controle estrutural para a sedimentação carbonática se faz muito importante, principalmente durante a deposição das zonas K60-50 e K60-80, quando a bacia começou a experimentar uma subida relativa do nível do mar. Nestas áreas, entramos nos domínios tectônicos de translação e compressão, onde o sal possui um papel importante no desenvolvimento de novos altos estruturais devido a seu aumento expressivo de espessura e suas diversas e complexas formas. A influência da tectônica salífera no controle deposicional das litofácies parece ser diferenciado. Embora haja relatos de que a halocinese já começava a atuar na bacia, na época da deposição da unidade K60-20, postulada por [Chang et al. \(2008\)](#) e [Waisman et al. \(2019\)](#), não parece ter tido tanta influência, quanto os altos do embasamento, pois a carga sedimentar sobre os evaporitos salinos ainda era relativamente pequena e a profundidade da bacia ainda era pouca, levando a extensão da plataforma carbonática por grande parte da bacia. Com a evolução da tectônica salífera, ao longo do Albiano, durante a

deposição das zonas K60-50 e K60-80, o esforço sobrejacente faz com que a camada de sal se deforme mais intensamente, criando novos altos estruturais que influenciarão na deposição de carbonatos, além dos já existentes altos pretéritos do embasamento/rifte. Nestas regiões, as plataformas carbonáticas correspondem a “minibacias”, localizadas entre os grandes diápiros e/ou muralhas, com pequena extensão areal e, geralmente com ocorrência de litofácies finas, associadas à baixa energia e bancos carbonáticos, associados a alta energia.

Localmente, a região norte-extremo norte da bacia, registrou-se a ocorrência de litofácies predominantemente siliciclásticas, de granulometria grosseira a fina, em todas as zonas estudadas, adentrando ao setor intermediário da bacia, atribuído um depósito turbidítico, como descrito por [Waisman et al. \(2019\)](#).

Os mapas de litofácies propostos para cada unidade estudada representaram a integração de todos os resultados obtidos com o detalhamento geológico realizado. O zoneamento adotado influenciou na análise e distribuição das litofácies interpretadas nos poços, as quais, juntamente com a análise das seções estratigráficas e seções sísmicas, culminaram na definição do modelo conceitual selecionado. Além dos conceitos de estratigrafia de seqüências, o mapa de topo do embasamento (Figura 30), com seus altos e baixos estruturais relativos, foi um importante condicionante para o desenho destes mapas.

Os mapas paleobatimétricos de [Viviers & Azevedo \(1988\)](#) (Figura 13) foram de grande ajuda no traçado dos mapas aqui apresentados, existindo assim, uma boa com os mapas de litofácies aqui propostos. [Waisman et al. \(2019\)](#) também propuseram mapas da distribuição das litologias das três seqüências que compõem o Albiano Inferior (S20, S50 e S80) a partir de dados de poços e interpretações sísmicas., os quais também ajudaram na confecção dos mapas de litofácies apresentados.

Em regiões onde não existem poços perfurados, os contatos foram inferidos. O resultado destes mapas é uma proposta de correlacionar arealmente domínios de litofácies, com velocidades oriundas das análises estatísticas, em cada zona estudada, com a finalidade de se construir cenários alternativos de modelagens de velocidades em regiões onde não existem poços perfurados, impactando as volumetrias de rochas abaixo dos mesmos e, conseqüentemente, a volumetria de hidrocarbonetos, conforme já apresentado em relação aos estudos de sal ([Maul et al., 2021b](#), [Pontes et al., 2019](#), [Yamamoto et al., 2023](#)) e para as plataformas carbonáticas ([Camargo et al., 2022](#); [Novellino et al., 2023](#); [Camargo et al., 2023](#)).

A questão de utilizar o mapa de topo do embasamento atual da bacia, como condicionante para traçado dos mapas, nos leva a algumas questões: ele realmente representa o embasamento da bacia à época da deposição do Albiano-Cenomaniano? Como era a fisiografia

da bacia, pós deposição dos evaporitos salinos, plana ou já existiam imperfeições na superfície que serviriam de condicionantes para deposição de certas litofácies? Quando foi o início da movimentação do sal, ele é sindeposicional ou pósdeposicional, em relação as camadas albianas-cenomanianas?

Acredita-se que a subsidência térmica das bacias e margens continentais ocorra tipicamente durante o período pós-rifte, uma vez que tenha ocorrida a ruptura continental e o mecanismo de rifteamento não está mais ativo ([McKenzie 1978](#)). [Gonzaga \(2011\) in Waisman et al. \(2019\)](#) defende que fase rifte da Bacia de Santos teria continuado até o final da Formação Guarujá, devido a elevada taxa de sedimentação da sequência K60-20 nos os baixos estruturais do embasamento. Os modelos clássicos de rifteamento propõem que este mecanismo já não está ativo, já durante a fase sag (Aptiano), sendo esta sequência, interpretada como tendo sido depositada durante a subsidência térmica pós-rifte ([Mohriak et al., 2008](#); [Unternehrr et al., 2010](#); [Mello et al., 2012](#); [Kumar et al., 2013](#); [Blaich et al., 2013](#); [Marcano et al., 2013](#); [Miranda et al., 2013](#); [Rowan 2014](#); [Quirk and Rüpke 2018 in Araujo et al., 2022](#)). No modelo de Araujo et al. (2022) o mecanismo de rifteamento proposto se estende até o Albiano Inferior (110 Ma) formando os principais compartimentos estruturais, discordâncias e zonas de charneira distais, observados hoje em linhas sísmicas. Assim, qualquer que seja o modelo aceito, a deformação referente ao mecanismo de rifteamento cessou no início do Albiano, durante a deposição da sequência K60-20 fazendo com que seja válida a hipótese que os altos e baixos estruturais do embasamento sofreram pouca alteração, desde o início da deposição do Albiano.

[Guerra & Underhill \(2012\)](#) propõem que o maior responsável pela deformação das camadas do pós-sal, foi a halocinese, a qual produziu domínios de padrão diferentes, extensional *updip* e contracional *downdip*. Diápiros e muralhas de sal espesso ocorrem em águas profundas enquanto, almofadas e diápiros de até alguns quilômetros de altura ocorrem na porção mais rasa. A movimentação do sal proporcionou uma tectônica de *raft* nos carbonatos resultando em muitas estruturas tipo *turtleback* (cascos de tartaruga), as quais se constituem em bons *plays* exploratórios na parte sul da bacia ([Cainelli & Mohriak 1999](#)). No Albiano, a sequência pós-sal foi segmentada por pequenas falhas lítricas normais no topo do sal, formando *rollovers* de sal, deformando os sedimentos depositados já no Albiano inferior em um estilo tectônico de *rafts*. Este padrão é comum em outras bacias salinas na margem leste brasileira e na margem ocidental africana conjugada. A área ocupada pelo sal era muito maior no Albiano do que é atualmente, o que atesta que o sal se moveu para a bacia ao longo da fase de deriva, formando as grandes muralhas, presentes em águas profundas e ultra profundas. Grande parte do sal presente na porção distal da bacia foi expelido dos setores proximal e central

da Bacia de Santos, desde a sua deposição, impulsionado principalmente pela carga diferencial causada pela sedimentação pós-sal. [Waisman et al. \(2019\)](#) propõem que o início da halocinese na Bacia de Santos teria iniciado bastante precocemente, durante a própria deposição da sequência K60-20 como uma das hipóteses para a drástica variação de espessura desta sequência.

Neste trabalho, levou-se em conta que os evaporitos salinos apresentaram pouca movimentação no Albiano Inferior, com gradativo aumento durante o Albiano Superior e Cenomaniano, devido, principalmente, a sobrecarga imposta pelos estratos subjacentes. Assim, o sal exerceu mais impacto na representação dos mapas das unidades K60-50 e K60-80, principalmente na distribuição de litofácies carbonáticas de maior energia, como observado em [Spadini et al. \(1988\)](#).

No mapa de litofácies da zona estratigráfica K60-20 (Figura 61) é possível observar o domínio da sedimentação carbonática (de alta e baixa energia) na maior parte da bacia, com pequenas áreas de sedimentação de águas profundas (setor mais distal da bacia). Os mapas de litofácies das zonas estratigráficas K60-50 (Figura 62) e K60-80 (Figura 63) são semelhantes entre si, ressaltando a progressiva subida do nível do mar, evidenciada pelo domínio da sedimentação de águas mais profundas. A sedimentação carbonática persistiu, entretanto, mais restrita, concentrada na parte superior da plataforma e, em altos estruturais (observado em [Spadini et al., 1988](#)). Foram inferidas rochas carbonáticas no setor distal da bacia, em associação a altos estruturais do embasamento, bastante proeminentes, entretanto são de caráter especulativo, necessitando de poços para serem corroboradas, conforme já apontado em [Spadini et al. \(1988\)](#) e [Waisman et al. \(2019\)](#). O mapa de litofácies da zona estratigráfica AlbSup-Ceno (Figura 64) evidencia esta progressiva subida do nível do mar, praticamente encerrando a produção carbonática na bacia, a qual ficou restrita apenas a algumas regiões na parte superior da plataforma (constatadas) e aos grandes altos estruturais (inferidas), em acordo com o modelo de [Spadini et al. \(1988\)](#).

Os mapas paleobatimétricos de [Viviers & Azevedo \(1988\)](#), para as unidades estratigráficas Albiano Superior e Cenomaniano-Turoniano Médio, chamam atenção para áreas onde ocorreu erosão parcial ou total dos depósitos destas idades, devido a posterior tectonismo ou escavação de cânions. Apesar de serem identificáveis nas seções sísmicas interpretadas, essas discontinuidades não foram representadas nos mapas de litofácies.

## 8.2 Modelagem geológica de velocidades

### 8.2.1 Análises estatísticas de Vp e litologia

A análise da bacia como um todo foi realizada utilizando os 77 poços do projeto, ilustrados na Figura 66 (combinação dos poços em cores preta, azul, vermelho e magenta), independentemente se próximos às seções identificadas e ilustradas na presente pesquisa. Ainda na Figura 66, os 15 poços em azul, os 18 poços em vermelho e os 16 poços em magenta, respectivamente, foram utilizados para as análises das regiões proximal, intermediária e distal.

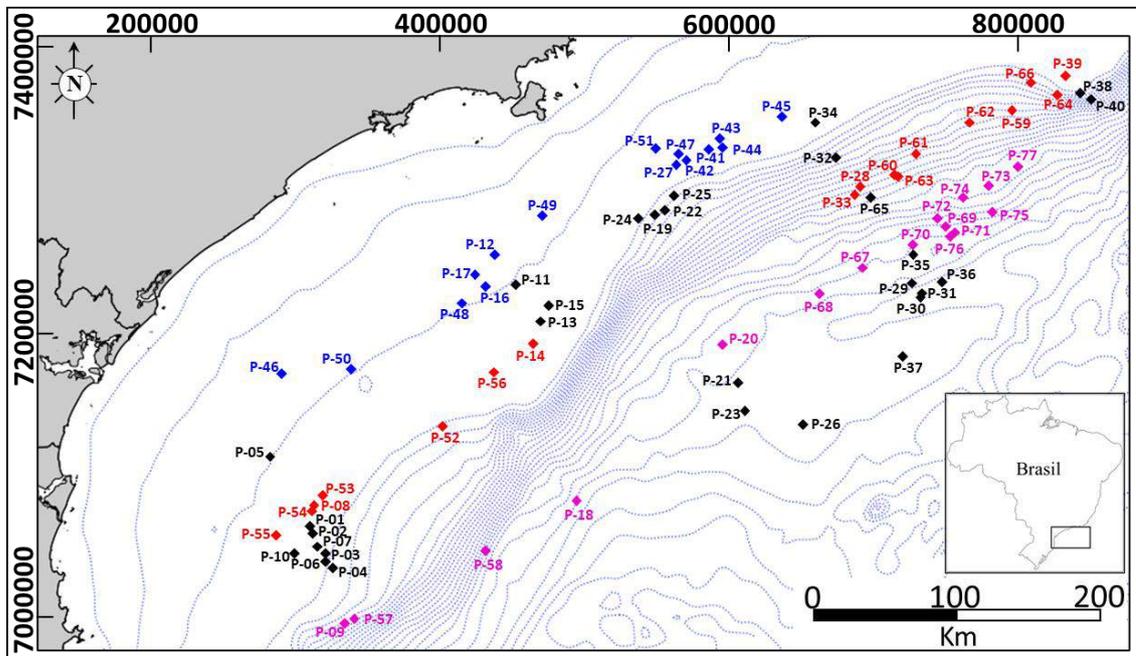


Figura 66 - Distribuição dos poços utilizados nas análises estatísticas: toda a bacia (preto, azul, vermelho e magenta); região proximal (azul); região intermediária (vermelho); região distal (magenta). Fonte: o Autor.

#### 8.2.1.1 Toda a bacia

É observado que as velocidades de todas as zonas estratigráficas apresentam formas distintas, distribuídas ao longo de uma ampla faixa de velocidades (Figura 67b, Figura 68b, Figura 69b e Figura 70b).

Esta grande variação de formas dos histogramas está, provavelmente, relacionada ao fato das análises estatísticas de cada zona estratigráfica estarem considerando poços perfurados em regiões proximais, intermediárias e distais da bacia, o que inclui na análise uma grande quantidade de litologias associadas às porções distintas do sistema deposicional, com diferentes

valores de velocidade compressional. A resposta das distribuições de velocidade está relacionada ao percentual litológico encontrado em cada zona estratigráfica (Figura 67a, Figura 68a, Figura 69a e Figura 70a).

- **Zona K60-20**

Assim como a zona K60-80, a zona K60-20 apresenta uma distribuição assimétrica de caráter unimodal da Vp (Figura 67b), com variação principal aproximada entre 3500 e 6500 m/s, e média aproximada de 5520 m/s (Tabela 6). Diferentemente da zona K60-80, A moda também se desloca no sentido das velocidades mais altas, em torno de 6000-6200 m/s.

Tabela 6 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-20, em toda a bacia (utilizando todos os poços). Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2815	6691	5518	709

O conteúdo de rochas francamente carbonáticas é relativamente alto, em relação as rochas siliciclásticas, refletindo diretamente na forma do histograma de Vp. A Figura 67a apresenta 64% de rochas carbonáticas, como *grainstones*, *packstones*, *mudstones* e *wackstones* e ainda algo descrito como calcário, além de 16% de margas, rochas com conteúdo misto siliciclástico e carbonático, e 20% de siliciclásticos, como folhelhos, arenitos e siltitos. Assim como na zona K60-80, a distribuição da Vp nesta zona tende a valores mais altos. Entretanto, o aumento maior dos percentuais dos litotipos carbonáticos faz com que sua assimetria seja bem mais acentuada que a do histograma daquela zona.

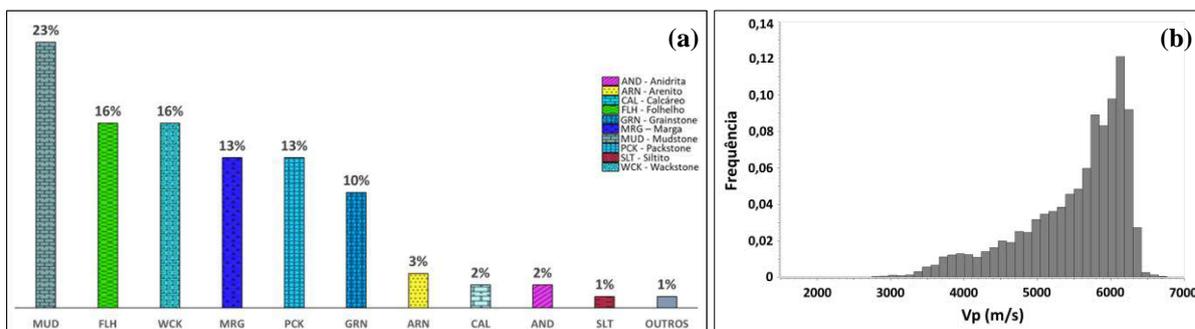


Figura 67 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-20 em toda a bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

- **Zona K60-50**

O histograma de Vp da zona K60-50 é o mais complexo da análise da bacia como um todo. Possui uma forma levemente assimétrica, com tendência a velocidades mais altas e 3 “modas” bem definidas (Figura 68b). A variação principal da Vp está entre 3200 m/s e 6300 m/s, com média de 5100 m/s (Tabela 7).

De todas as distribuições litológicas da análise com foco em toda a bacia, a desta zona (Figura 68a) é a que apresenta a menor diferenças entre os percentuais litológicos, sendo isto responsável pela forma do histograma de Vp e sua multimodalidade. Os percentuais de rochas francamente carbonáticas, representadas por *grainstones*, *packstones*, *mudstones* e *wackstones*, aproximadamente de 46%, gera a moda de Vp mais alta, em torno de 6000 m/s. Siliciclásticos como arenitos, siltitos e pequena parte dos folhelhos, de mais baixa Vp, são, provavelmente, responsáveis pela moda de mais baixa velocidade, cerca de 4000 m/s. A combinação de folhelhos com alta Vp, e margas, de composição, siliciclástica/carbonática, responde pela moda intermediária, em torno de 4900 m/s.

Tabela 7 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-50, em toda a bacia (utilizando todos os poços). Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2638	6990	5100	768

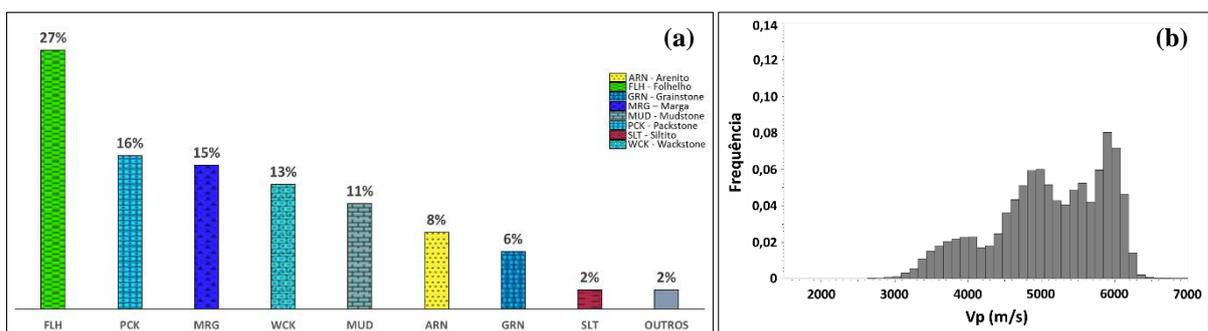


Figura 68 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-50 em toda a bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

- **Zona K60-80**

A zona K60-80 apresenta uma distribuição assimétrica, suave, de caráter unimodal da Vp (Figura 69b), apresentando variação principal aproximada de 3000 a 6200 m/s, com média

de aproximadamente de 5030 m/s (Tabela 8). Possui moda em torno de 5900-6000 m/s.

Tabela 8 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-80, em toda a bacia (utilizando todos os poços). Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
1743	6995	5037	766

Nesta zona estratigráfica é observado que a contribuição de rochas francamente carbonáticas aumenta muito, em relação as rochas siliciclásticas, refletindo diretamente na forma do histograma de Vp. A Figura 69a apresenta 55% de rochas francamente carbonáticas, como *grainstones*, *packstones*, *mudstones* e *wackstones*, 18% de margas, rochas com conteúdo misto siliciclástico e carbonático e, 24% de siliciclásticos francos, como folhelhos, arenitos e siltitos.

A distribuição da Vp nesta zona tende a valores mais altos cuja assimetria está diretamente relacionada ao aumento dos percentuais dos litotipos carbonáticos.

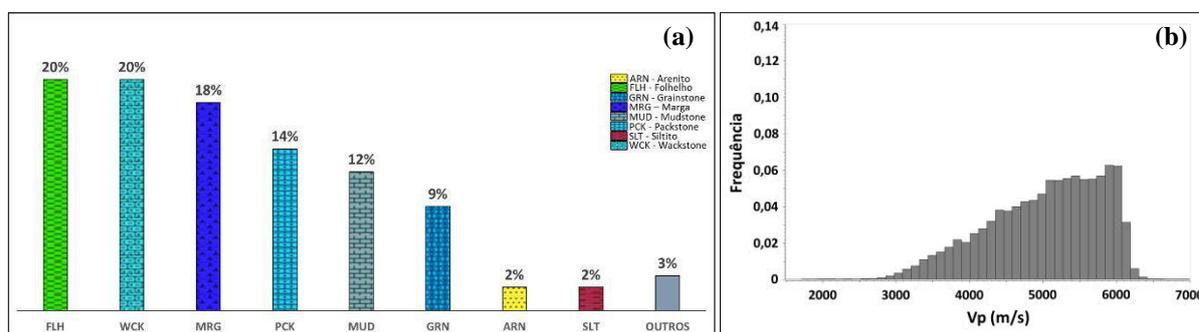


Figura 69 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-80 em toda a bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

- **Zona AlbSup-Ceno**

A zona AlbSup-Ceno apresenta uma distribuição mais simétrica da Vp, de caráter bimodal (Figura 70b), apresentando variação principal de 2400 a 5400 m/s, com média de cerca de 4120 m/s (Tabela 9).

Na Figura 70a é observado um grande percentual de rochas siliciclásticas presentes nesta zona estratigráfica, com destaque para folhelhos e margas. Aproximadamente 60% são folhelhos, arenitos e siltitos, rochas de Vp mais baixa, evidenciando a moda do histograma de Vp, em torno de 3600 m/s. Outros 37% são rochas com conteúdo carbonático mais alto, como

margas, *mudstones* e *wackstones*, que juntamente com folhelhos mais carbonáticos, contribuem para a outra moda, em torno de 4500 m/s.

Tabela 9 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona AlbSup-Ceno, em toda a bacia (utilizando todos os poços). Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
1718	6993	4124	684

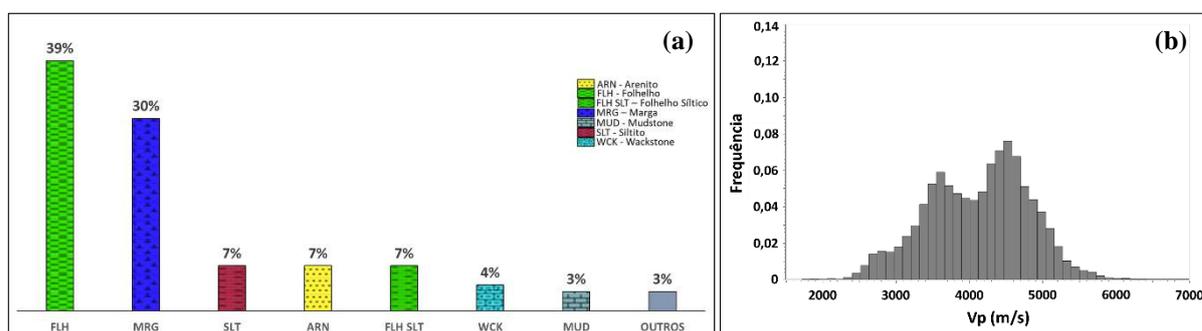


Figura 70 - Análise estatística para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno em toda a bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

### 8.2.1.2 Região proximal

Para representar a região proximal, foram utilizados os 15 poços que compõem a seção estratigráfica *strike* proximal (em azul, na Figura 66). Era esperado que, considerando apenas o setor proximal, as velocidades de cada zona estratigráfica apresentem distribuições menos multimodais, estreitando a faixa de velocidades para todas as zonas estratigráficas (Figura 71b, Figura 72b, Figura 73b e Figura 74b). Embora se esperasse que os maiores percentuais estivessem atribuídos a litofácies costeiras e transicionais, existe uma importante variação de tipos litológicos encontrados nesta região (Figura 71a, Figura 72a, Figura 73a e Figura 74a)

- **Zona K60-20**

A distribuição da velocidade na zona K60-20 se assemelha muito a da zona K60-50, apresentando uma distribuição bastante assimétrica, mas de caráter unimodal da Vp (Figura 71b). Sua variação principal aproximada é de 3500 a 6500 m/s, e média próxima de 5580 m/s (Tabela 10). A moda encontra-se na extremidade das velocidades mais altas, em torno de 6000 m/s.

Analisando a Figura 71a, nota-se que o conteúdo de rochas francamente carbonáticas, principalmente *packstones*, *wackstones* e *mudstones* e secundariamente *grainstones* é significativamente alto, em torno de 71%, o que leva a moda da distribuição para uma Vp bastante elevada. Rochas siliciclásticas, principalmente folhelhos e secundariamente arenitos, e, de composição mista, como as margas, possuem percentuais menores, com 18% e 13% respectivamente, e são responsáveis pela parte de menor expressão da distribuição, em forma de platô e rampa suave na região de baixas velocidades.

Tabela 10 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-20, na região proximal da bacia.  
Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2858	6679	5579	691

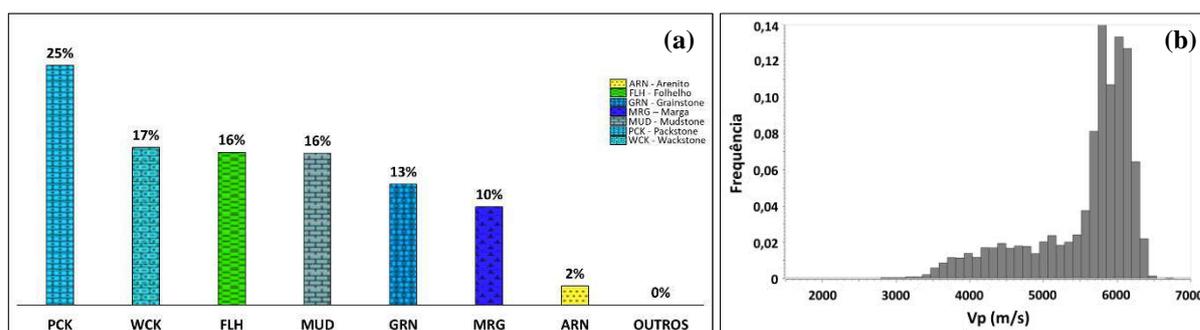


Figura 71 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-20 na região proximal da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor

- **Zona K60-50**

A distribuição de Vp da zona K60-50 possui forma bem assimétrica, com tendência a velocidades mais altas, e com duas modas bem definidas (Figura 72b). A variação principal da Vp está vai de 3200 a 6300 m/s, com média em torno de 5250 m/s (Tabela 11).

A Figura 72a apresenta a distribuição estatística dos litotipos presentes na zona K60-50. O percentual do agrupamento de rochas francamente carbonáticas, como *packstones* e *wackstones* e secundariamente *mudstones* e *grainstones* é relativamente alto, em torno de 74%, o que força a assimetria da distribuição para uma Vp elevada, com moda principal em torno de 5800 m/s. As rochas siliciclásticas, principalmente folhelhos e secundariamente arenitos e siltitos são responsáveis pela região de mais baixas Vp, com moda secundária em 3700 m/s. E parte dos folhelhos e margas, com composição mista, contribuem para a parte de velocidades

intermediárias da distribuição.

Tabela 11 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-50, na região proximal da bacia.  
Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2727	6733	5246	856

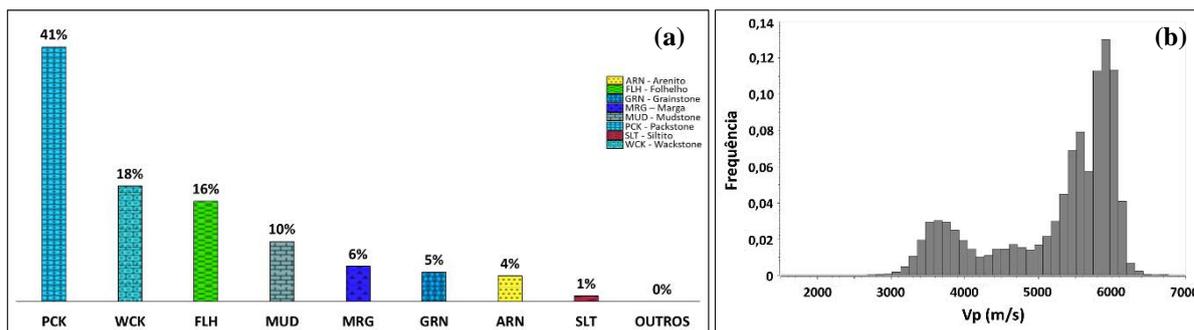


Figura 72 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-50 na região proximal da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor

- **Zona K60-80**

A zona K60-80 apresenta uma distribuição assimétrica (Figura 73b), cuja forma sugere uma moda principal, de Vp mais alta, em aproximadamente 5500 m/s e uma moda mais sutil, de Vp mais baixa, em 4400 m/s. A variação principal da Vp está entre 3300 e 6500 m/s, com média de cerca de 5070 m/s (Tabela 12).

Tabela 12 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-80, na região proximal da bacia.  
Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
1743	6640	5073	671

Nesta zona estratigráfica se observa que a contribuição de rochas francamente carbonáticas, como os *packstones*, *mudstones* e *wackstones* e secundariamente os *grainstones* aumenta bastante, atingindo aproximadamente em 65% (Figura 73a), o que gera uma forte assimetria da distribuição da Vp no sentido das altas velocidades, gerando moda mais proeminente, de aproximadamente 5500 m/s. Entretanto, uma segunda moda, mais sutil, mas também considerável, é identificada em 4400m/s, muito provavelmente devido aos percentuais

de folhelhos (17%) e Margas (18%) que, apesar de menores, também são bastante consideráveis, especialmente se analisadas em conjunto.

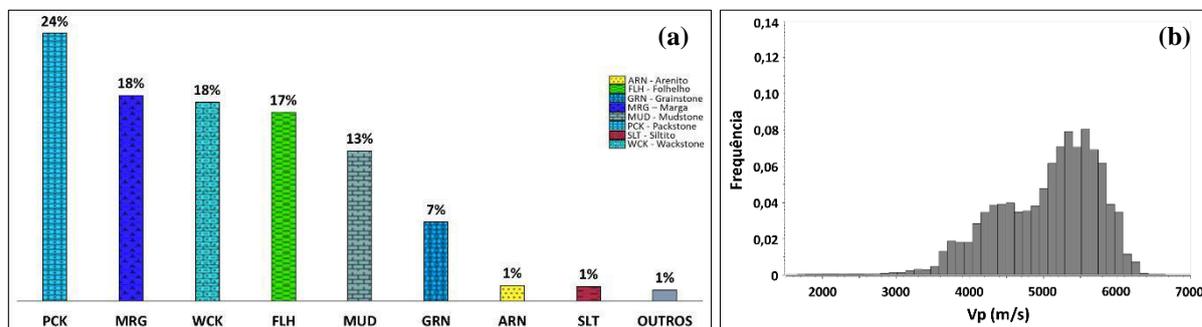


Figura 73 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-80 na região proximal da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor

- **Zona AlbSup-Ceno**

Na zona AlbSup-Ceno é observada uma distribuição aproximadamente simétrica da Vp (Figura 74b), posicionada em região de velocidade relativamente mais baixa, reflexo direto da quantidade de rochas siliciclásticas presentes na análise. Apresenta variação principal de 2600 a 5600 m/s, com média aproximada de 4070 m/s (Tabela 13), e duas modas principais são identificadas, uma em 3500 m/s e outra em 4300 m/s, ambas associadas à presença das rochas siliciclásticas.

Tabela 13 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona AlbSup-Ceno, na região proximal da bacia. Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
1718	5669	4068	583

A Figura 74a indica um grande percentual, de 75%, de rochas francamente siliciclásticas presentes nesta zona estratigráfica, com destaque para folhelhos, folhelhos silticos, arenitos e siltitos. Margas com composição mista representam 20%. O grande percentual de rochas siliciclásticas desloca o histograma como um todo em direção a velocidades mais baixas, vide sua média, próxima de 4000 m/s. A bimodalidade pode ser explicada pelos percentuais de siliciclásticos francos, com moda em torno de 3500 m/s e a contribuição das margas, com moda por volta de 4300 m/s.

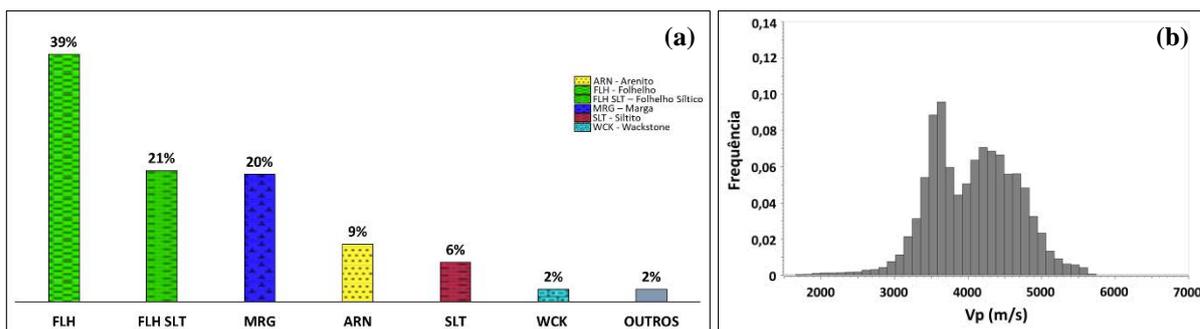


Figura 74 - Análise estatística para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno na região proximal da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor

### 8.2.1.3 Região intermediária

A análise estatística desta região utilizou os 18 poços que compõem as seções estratigráficas *strike* intermediária sul e norte (em vermelho na Figura 66).

Os percentuais litológicos (Figura 75b, Figura 76b, Figura 77b e Figura 78b) sugerem um aumento de litotipos siliciclásticas, principalmente folhelhos nas zonas AlbSup-Ceno e K60-50 e, uma grande concentração de rochas carbonáticas, como *wackstones* e *mudstones* nas zonas K60-80 e K60-20. O aumento da lâmina d'água na época de deposição, principalmente das zonas K60-20, K60-50 e K60-80, no Albiano Inferior, deve ter influenciado a produção de carbonatos, aumentando os de baixa energia e concentrando os de alta energia em altos estruturais. No setor distal da bacia, verifica-se também o aumento do percentual de rochas de granulação mais fina (margas e folhelhos), em resposta a subida do nível do mar. Os histogramas de velocidade (Figura 75a, Figura 76a, Figura 77a e Figura 78a) indicam tal resposta aos tipos litológicos presentes.

- **Zona K60-20**

A distribuição assimétrica da Vp nesta zona se assemelha muito à da zona K60-80, mas com três modas ao invés de duas: a primeira em torno de 4800 m/s, a segunda em cerca de 5500 m/s e a última, em aproximadamente 6000 m/s (Figura 75b). Sua variação principal está em torno de 4400 m/s a 6400 m/s, com média aproximada de 5540 m/s (Tabela 14).

De todas as distribuições litológicas do setor intermediário (Figura 75a), esta zona é a que apresenta a menor variação entre os percentuais de litotipos carbonáticos e siliciclásticos. Este equilíbrio é responsável pela forma do histograma de Vp e sua multimodalidade. Se observa que as rochas francamente carbonáticas, como os *mudstones* e *wackstones* e,

secundariamente *packstones*, respondem por 44% criando a assimetria observada na distribuição no sentido das altas velocidades (moda em torno de 6000 m/s). As rochas siliciclásticas, principalmente os folhelhos e secundariamente os arenitos e siltitos, com 37% e as margas, de composição mista, com 19% são responsáveis pelas outras duas modas, em 5500 m/s e em 4700 m/s, no sentido da região de baixas velocidades.

Tabela 14 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-20, na região intermediária da bacia.  
Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
4217	6691	5541	531

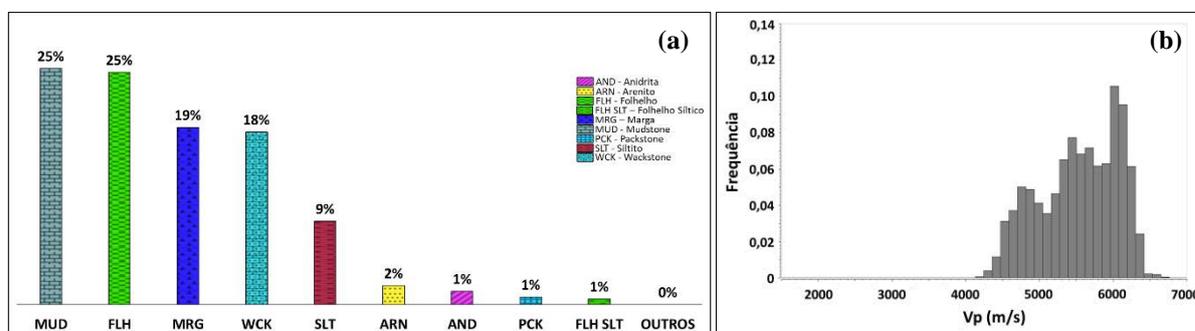


Figura 75 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-20 na região intermediária da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

### • Zona K60-50

Do mesmo modo que na zona AlbSup-Ceno, nesta zona, é observada uma distribuição relativamente simétrica da Vp com uma moda principal, bem evidente em 5000 m/s. Entretanto, uma segunda moda bem mais discreta, em torno de 6000 m/s, também é identificada (Figura 76b). A Vp apresenta variação principal, em torno de 4200 m/s a 6200 m/s, com média de 5070 m/s (Tabela 15).

Os percentuais litológicos (Figura 76a) indicam uma grande concentração de rochas siliciclásticas, principalmente de folhelhos e secundariamente de arenitos e siltitos (64%). Muito provavelmente as margas, com 13% contribuem, também, para o posicionamento da moda mais proeminente em 5000 m/s, bem próxima da média. A segunda moda, na região de mais alta velocidade é, provavelmente, devido a contribuição das rochas carbonáticas, que respondem por 22% do total.

Tabela 15 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-50, na região intermediária da bacia.

Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
3897	6993	5070	461

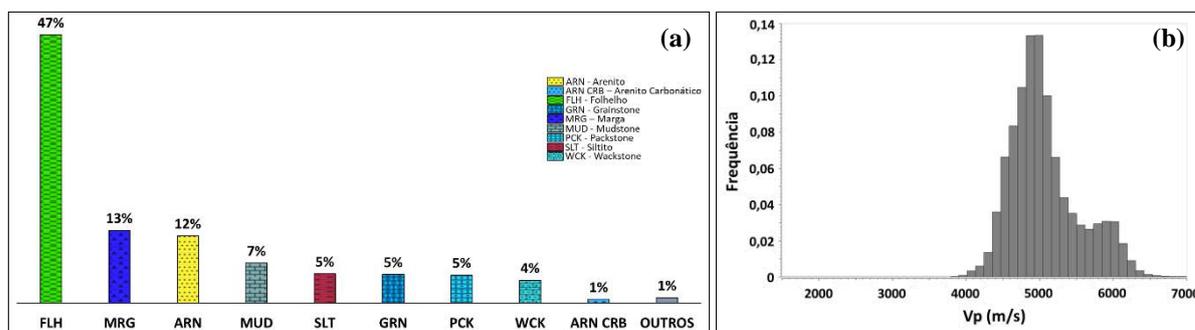


Figura 76 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-50 na região intermediária da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

- **Zona K60-80**

A zona K60-80 apresenta uma distribuição assimétrica e bimodal (Figura 77b). Sua variação principal está em torno de 3500 m/s a 6400 m/s, com média de aproximadamente 5170 m/s (Tabela 16).

Tabela 16 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-80, na região intermediária da bacia.

Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2762	6995	5173	683

Na análise dos tipos litológicos desta zona estratigráfica (Figura 77a) se observa a predominância de rochas francamente carbonáticas, como os *wackstones* e *packstones* e secundariamente *os mudstones* e *grainstones*, com 54%, criando a assimetria observada na distribuição em direção as altas velocidades (moda em torno de 6000 m/s). As rochas siliciclásticas, como folhelhos, arenitos e siltitos, com 27% e as margas, de composição mista, com 16% são responsáveis pela região de baixas velocidades, sugerindo a moda menos proeminente, em 4800 m/s.

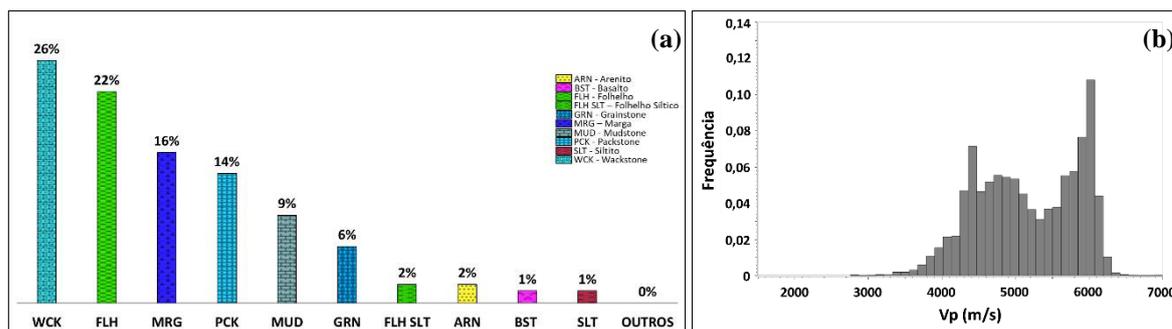


Figura 77 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-80 na região intermediária da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

- **Zona AlbSup-Ceno**

Na zona AlbSup-Ceno, do setor intermediário, é identificada uma distribuição relativamente simétrica da Vp, com caráter unimodal (Figura 78b), apresentando variação principal, em torno de 3500 a 5500 m/s, com média aproximada de 4690 m/s (Tabela 17).

Tabela 17 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona AlbSup-Ceno, na região intermediária da bacia. Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2892	6447	4682	471

A análise litológica (Figura 78a), indica um percentual de 53% de folhelhos, posicionando a moda bem próxima da média, em 4600 m/s. As margas com composição mista representam 32%, explicando um possível desenvolvimento de uma segunda moda, em 5000 m/s. O restante dos siliciclásticos, como arenitos e siltitos (9%) e carbonatos francos, como *mudstones* e *wackstones* (3%) são responsáveis pelas laterais do histograma, mais extensa e suave na região das baixas velocidades.

O alto percentual de siliciclásticos, em relação ao baixo percentual de carbonatos nessa zona indica uma resposta a subida relativa do nível do mar, ocorrida durante o final do Albiano e continuada durante o Cenomaniano.

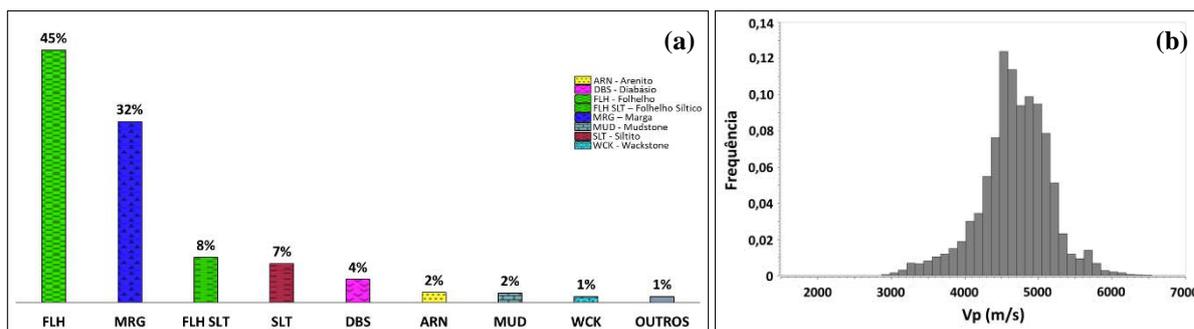


Figura 78 - Análise estatística para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno na região intermediária da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

#### 8.2.1.4 Região distal

Utilizando os 16 poços que compõem as seções estratigráficas *strike* distal sul e norte (em magenta na Figura 66) foi realizada a análise estatística do setor distal da bacia.

A menos da zona estratigráfica K60-20, quando se originam rochas carbonáticas, mesmo no setor distal, associadas à altos estruturais, nas outras zonas estratigráficas existe uma tendência de aumento de rochas siliciclásticas, oriundas de sedimentação em plataforma externa e bacia (Figura 79a, Figura 80a, Figura 81a e Figura 82a). Este aumento de rochas siliciclásticas, principalmente de granulação mais fina, como margas e folhelhos, está relacionado ao aumento da lâmina d'água nas épocas de deposição, nas zonas K60-50, K60-80 e AlbSup-Ceno, afogando a plataforma carbonática instalada durante a deposição da zona K60-20, no início do Albiano Inferior. A resposta da Vp para esta mudança litológica é verificada nos histogramas de Vp para cada zona (Figura 79b, Figura 80b, Figura 81b e Figura 82b).

Na zona K60-20, a distribuição de velocidades está normalmente posicionada em região de valores de Vp mais alta, devido à grande contribuição de litotipos carbonáticos, enquanto nas demais zonas a distribuição da Vp está posicionada em região de valores mais baixa, oriundas da grande concentração de litotipos siliciclásticos ou siliciclásticos/carbonáticos referentes a sedimentação em plataforma externa e bacia.

- **Zona K60-20**

É observada uma distribuição assimétrica da Vp nesta zona, que se assemelha muito a das zonas K60-20, dos demais setores da bacia. Indicando talvez que na época da sua deposição, a plataforma carbonática experimentasse uma distribuição areal ampla, ocupando a bacia como um todo. Duas modas são evidentes na distribuição, em 5800 m/s e em 5200 m/s além de uma

terceira, de menor expressão, em 4000 m/s. (Figura 79b). A variação principal da Vp está em torno de 3500 a 6500 m/s, com média próxima de 5310 m/s (Tabela 18).

Na distribuição da litologia desta zona (Figura 79a), é observado um alto percentual de rochas francamente carbonáticas (76%), que cria a assimetria da distribuição e, sua moda principal, para a região de alta Vp. O destaque é para os *mudstones* (51%) e secundariamente para o agrupamento dos *grainstones*, *packstones* e *wackstones* (25%), evidenciando a formação de rochas carbonáticas de águas mais profundas, com eventuais bancos carbonáticos localizados em altos estruturais. As margas, de composição mista, respondem por 10% os folhelhos, por 9% são, provavelmente, responsáveis pelas outras duas modas, no sentido da região de baixa Vp.

Tabela 18 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-20, na região distal da bacia. Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
3267	6681	5314	628

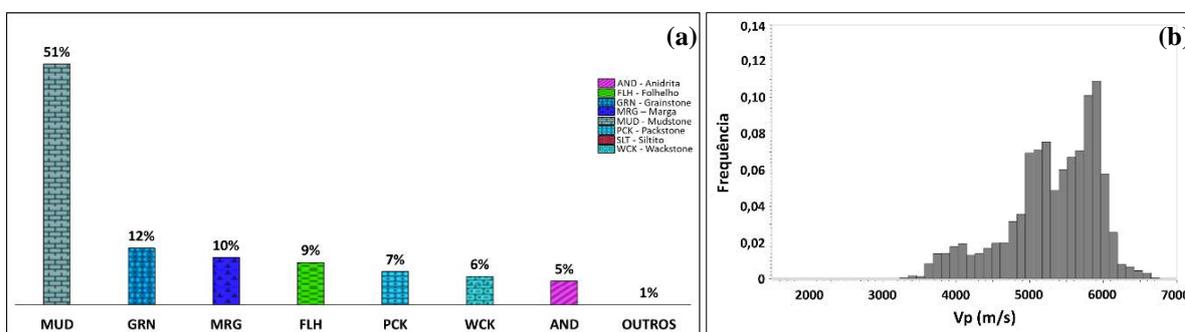


Figura 79 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-20 na região distal da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

### • Zona K60-50

A distribuição da Vp nesta zona apresenta uma leve simetria no sentido das baixas velocidades (Figura 80b) com variação principal em torno de 3500 m/s a 6000 m/s, e média de 4570 m/s (Tabela 19). Possui uma moda principal em 4000 m/s com certa irregularidade na rampa descendente, em direção as altas velocidades sem serem identificadas outras modas.

Os percentuais litológicos desta zona (Figura 80a) indicam predominância de folhelhos (35%) e secundariamente de margas (32%), posicionando o histograma em direção a velocidades mais baixas. Carbonatos francos (*mudstones*, *packstones*, *wackstones* e

*grainstones*) respondem por 25%, e assim como na zona K60-50, diabásio respondem por 8%. Provavelmente devido ao aumento de litotipos litológicos de altas velocidades, como carbonatos e ígneas, a rampa em direção as altas velocidades apresenta essas irregularidades.

Tabela 19 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-50, na região distal da bacia. Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
3243	6069	4571	597

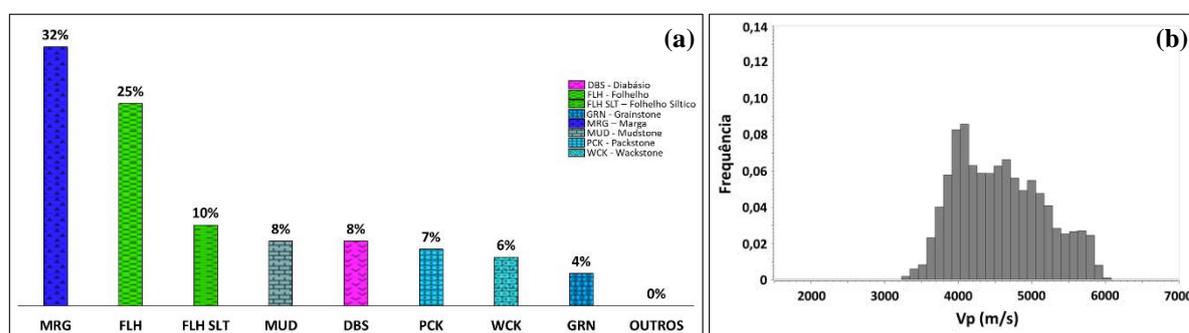


Figura 80 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-50 na região distal da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

- **Zona K60-80**

Assim como na zona AlbSup-Ceno a distribuição da Vp nesta zona também é relativamente simétrica (Figura 81b), apresentando variação principal em torno de 3000 a 6000 m/s, com média de 4380 m/s (Tabela 20). É evidente o caráter bimodal da distribuição, com frequências similares, respectivamente em torno de 4000 m/s e 5000 m/s.

Tabela 20 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona K60-80, na região distal da bacia. Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2774	6961	4380	638

Os percentuais litológicos desta zona (Figura 81a) se assemelham muito a da zona AlbSup-Ceno, indicando a predominância de folhelhos (44%) e secundariamente de margas (33%). Um percentual mais baixo (13%) corresponde as rochas carbonáticas, como os *mudstones* e *wackstones*, evidenciando que mesmo no topo do Albiano Inferior, ainda existia a

produção de carbonatos localmente na bacia.

Interessante chamar a atenção para os 7% referentes a rochas ígneas, neste caso diabásio, que são muito frequentes na porção Norte da bacia, nas proximidades do Alto de Cabo Frio. Neste setor norte da bacia, algumas intrusões/extrusões ígneas tem importância ainda maior que os carbonatos, devido a sua espessura considerável, impactando diretamente na variação de velocidades sísmicas, a qual deve ser considerada nas construção/refinamento dos modelos de velocidade.

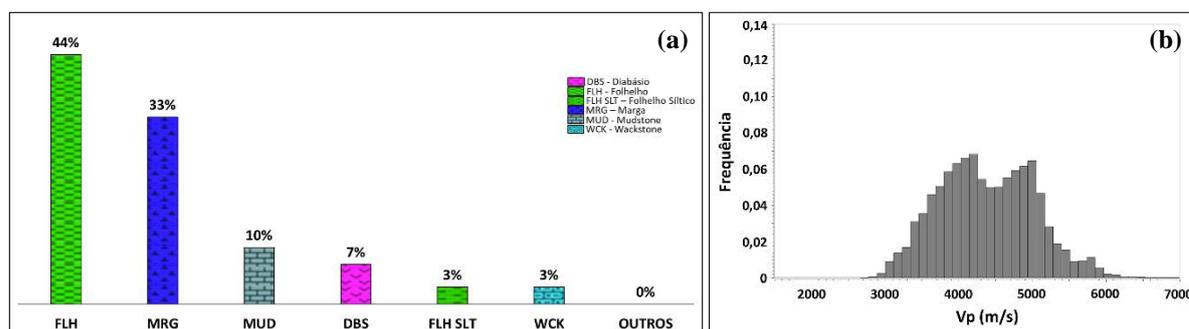


Figura 81 - Análise estatística para a zona estratigráfica K60-80 na região distal da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

- **Zona AlbSup-Ceno**

Na zona AlbSup-Ceno do setor distal, é observada uma distribuição relativamente simétrica da Vp, apresentando variação principal, em torno de 3000 a 5500 m/s, com média próxima de 4030 m/s (Tabela 21). Chama atenção a moda principal, de velocidade relativamente baixa, em 3900 m/s e uma segunda moda, bem menos proeminente, em 5400 m/s (Figura 82b).

Tabela 21 - Parâmetros de Vp obtidos da análise estatística, para a zona AlbSup-Ceno, na região distal da bacia. Fonte: o Autor.

Vp Mínima (m/s)	Vp Máxima (m/s)	Vp Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2447	6993	4027	522

Os percentuais litológicos (Figura 82a) indicam uma grande concentração de rochas predominantemente siliciclásticas, principalmente de folhelhos e secundariamente de arenitos e siltitos (64%). Muito provavelmente as margas, com 44%, contribuem também para o posicionamento da moda mais proeminente em 3900 m/s, bem próxima da média. A segunda

moda na região de mais alta velocidade é, provavelmente, devido a pequena contribuição das rochas carbonáticas, que respondem por 22% do total.

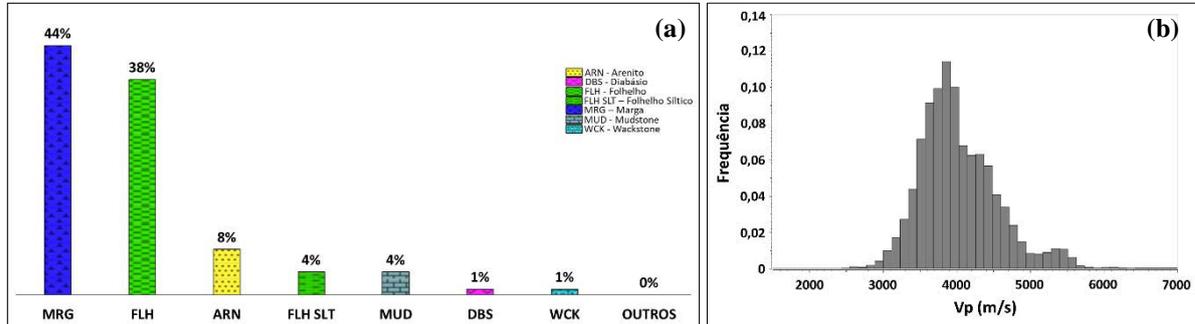


Figura 82 - Análise estatística para a zona estratigráfica AlbSup-Ceno, na região distal da bacia. Distribuição percentual dos tipos litológicos (a) e histograma de Vp (b). Fonte – o Autor.

### 8.2.2 Modelagem da Vp e quantificação das incertezas

A metodologia aplicada para a escolha das velocidades utilizadas na modelagem teve como objetivo principal, capturar as incertezas associadas às distribuições de Vp provenientes das análises estatísticas elaboradas nas zonas estratigráficas estudadas, nos diferentes setores da bacia.

Em geral, os valores obtidos para a variação da Vp, observados nas distribuições estatísticas, oscilam, em uma faixa de 2500 até 6500 m/s (considerando os valores mínimo e máximo observados nos histogramas). Predominantemente, as rochas que compõem as zonas estratigráficas Albianas-Cenomanianas, dos poços estudadas são constituídas por litotipos siliciclásticos (folhelhos, arenitos e siltitos), carbonáticos de baixa energia (*mudstones* e *wackstones*) e de mais alta energia (*packstones* e *grainstones*) e, mistas, siliciclástico-carbonáticas (margas).

A Figura 83 ilustra os valores de Vp utilizados nas modelagens de cada cenário modificado (também explicitados na Tabela 22), bem como a forma das distribuições e a interpretação das modas otimista e pessimista. A escolha das distribuições otimista (média de Vp mais baixa, em vermelho) e pessimista (média de Vp mais alta, em azul) foi feita de maneira qualitativa, através do desenho sobre o histograma e da escolha do valor médio. Com óbvias diferenças na forma das distribuições, principalmente devido ao diferente conteúdo litológico presente em cada análise, as distribuições de Vp ficaram dentro da faixa de velocidades observadas na literatura (Thomas, 2000), ilustrada na Figura 84.

Tabela 22 - Parâmetros de Vp extraídos das análises estatísticas realizadas nos poços do projeto, em cada setor da bacia, utilizadas na edição do modelo do processamento para criação dos três cenários modificados. Fonte: o Autor.

Setor da bacia									
Zonas Estratigráficas	Proximal			Intermediário			Distal		
	Média Otimista da Vp (m/s)	Média Global da Vp (m/s)	Média Pessimista da Vp (m/s)	Média Otimista da Vp (m/s)	Média Global da Vp (m/s)	Média Pessimista da Vp (m/s)	Média Otimista da Vp (m/s)	Média Global da Vp (m/s)	Média Pessimista da Vp (m/s)
AlbSup-Ceno	3600	4068	4400	4500	4682	5200	3800	4027	4500
K60-80	4400	5073	5350	4700	5173	5600	4000	4380	4900
K60-50	4000	5246	5700	4900	5070	5900	4200	4571	5000
K60-20	4600	5579	5900	5000	5541	6000	4600	5314	5700

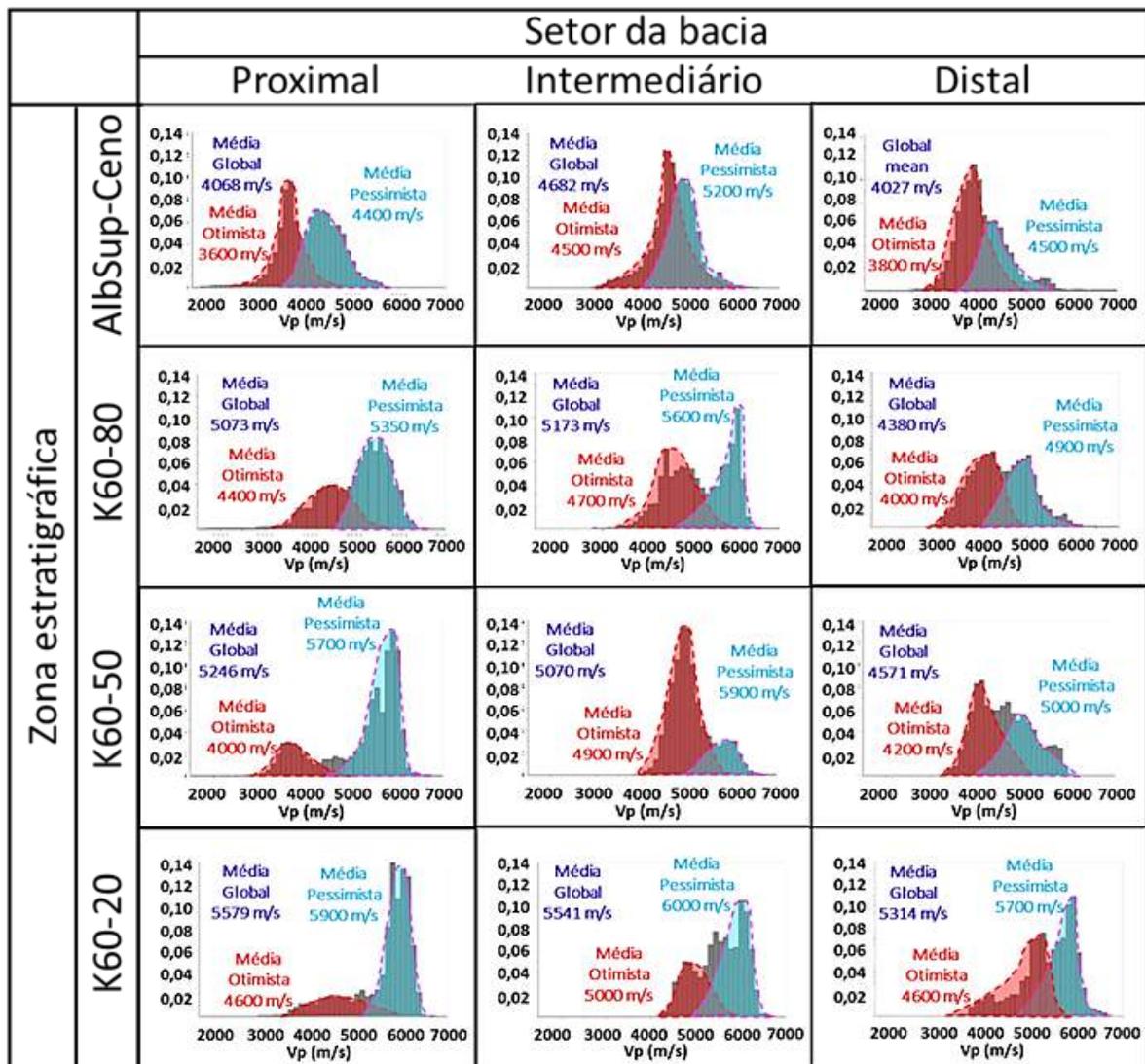


Figura 83 - Valores das médias da Vp, utilizados nas modelagens dos cenários, “média global”, “média otimista” e “média pessimista”. Fonte: o Autor.

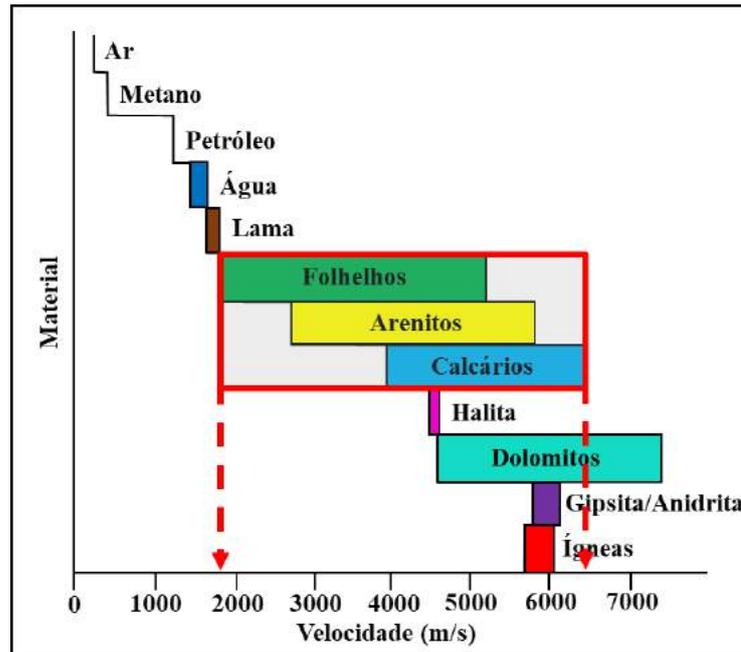


Figura 84 - Distribuição das velocidades intervalares dos litotipos observados na prospecção de petróleo pelo método de reflexão sísmica. Fonte: [Thomas \(2000\)](#), modificado pelo Autor.

A utilização das médias global (considerando toda a distribuição), da moda de alta Vp (pessimista) e de baixa Vp (otimista) permitiu a criação de três cenários, a serem utilizados na conversão tempo-profundidade, os quais se mostraram satisfatórios, tanto qualitativamente quanto quantitativamente.

Qualitativamente, a substituição da Vp intervalar nas zonas estratigráficas albianas-cenomanianas introduz camadas de Vp constante, em cada setor da bacia, como observado na Tabela 22. Dessa forma, para as linhas *strike*, após o processo de edição da Vp, para cada cenário, observaremos camadas de Vp constante ao longo de cada linha sísmica pois, estas linhas estão sempre contidas dentro de seu respectivo setor na bacia (Figura 26). Já as linhas *dip* exibem uma variação lateral de velocidade, resultado do posicionamento espacial destas seções, em relação aos setores da bacia. Com a edição da Vp para a criação dos cenários, algumas interfaces abruptas foram criadas na velocidade intervalar. Entretanto, com a conversão para velocidade média (o programa utiliza a velocidade média para conversões entre os domínios), este fato é atenuado devido ao caráter muito mais suavizado desta última e, nenhum artefato foi gerado nos dados convertidos.

Em termos de quantificação das modelagens, através da diferença entre superfícies da base do sal (posicionadas abaixo das zonas estratigráficas com Vp modificada), os valores observados estão compatíveis com dados observados na literatura. Serão analisadas separadamente cada seção.

### 8.2.2.1 Seção *strike* proximal

Quando posicionada sobre o modelo de velocidade, a “difícil” interpretação de superfícies efetuada nesta seção ilustra uma distribuição errática da Vp intervalar ao longo da linha (Figura 85a) A variação lateral das velocidades não está distribuída ao longo das camadas geológicas, nem se correlaciona com a variação dos litotipos presentes em ambientes deposicionais diversos.

A Figura 85 ilustra a Vp do processamento, bem como as velocidades resultantes das modelagens dos cenários. Foram introduzidas camadas de velocidades intervalares constantes, ao longo da seção, correlacionáveis com as camadas geológicas, utilizando os valores extraídos das análises estatísticas (Tabela 22).

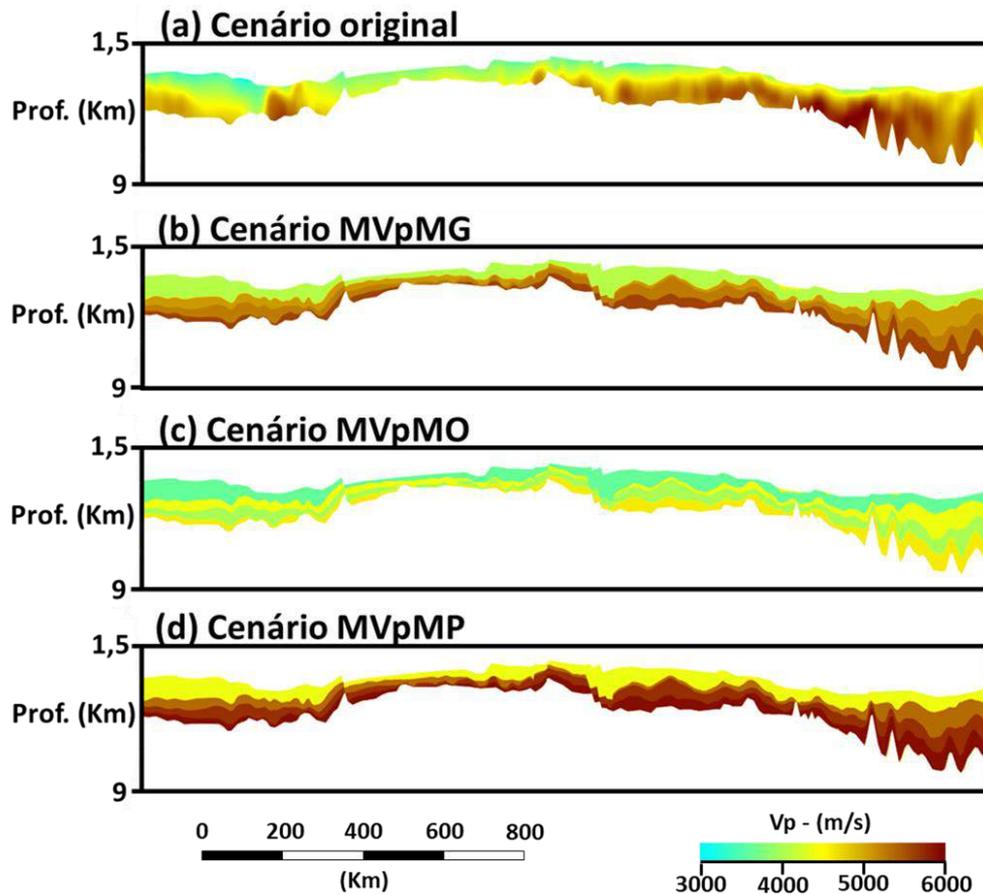


Figura 85 - Modelagem de Vp na seção *strike* proximal. Diferentes cenários resultantes da modelagem da Vp: (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

A Figura 86 apresenta as superfícies da base do sal convertidas com cada cenário modelado. São identificadas diferenças ao longo de toda a seção, pois as zonas modeladas são

relativamente contínuas e espessas, entretanto com espessura variável, o que leva a uma possível correlação entre a espessura das camadas e a magnitude da diferença.

A variação percentual entre os cenários é observada na Figura 87, a qual ressalta uma faixa de variação máxima, de -5,8% até 9,2%. Utilizando o cenário MVpMP, que representa a moda de velocidade mais alta, nota-se a perda da média de espessura de 5,8%, enquanto ao utilizar o cenário MVpMO, que representa a moda de velocidade mais baixa, registrou-se um ganho da média de espessura de 9,2%. O cenário MVpMG, de média global se aproxima muito do cenário original do processamento, embora com aspecto mais geológico e, apresenta uma perda de média espessura de 1,7%.

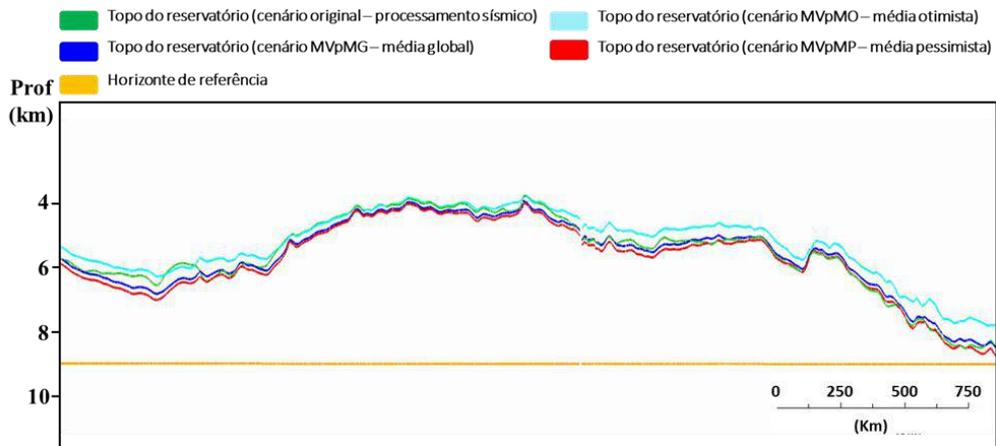


Figura 86 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *strike* proximal. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

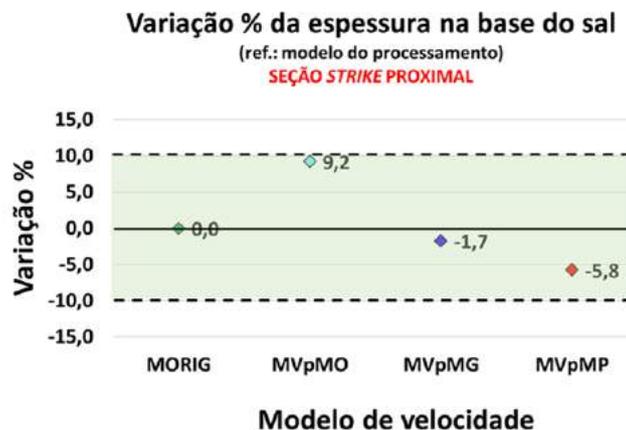


Figura 87 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção *strike* proximal. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

### 8.2.2.2 Seção *strike* intermediária sul

Em termos visuais, esta seção apresenta algumas diferenças em relação a anterior, sendo caracterizada pela sua localização em domínios halocinéticos diferentes: a metade a SW se localiza em domínio distensional, com camada mais delgada de sal e, sobre a qual existem camadas mais espessas das zonas albianas-cenomanianas; já a metade a NE está localizada sobre domínio compressivo, com grandes diápiros e muralhas de sal, onde se desenvolveram principalmente minibacias. A distribuição da Vp intervalar ao longo da linha (Figura 88a) não apresenta grandes problemas. Assim como a seção anterior, a modelagem executada introduz camadas de velocidades, intervalares constantes ao longo da linha, correlacionáveis com as camadas geológicas albianas-cenomanianas (Figura 88).

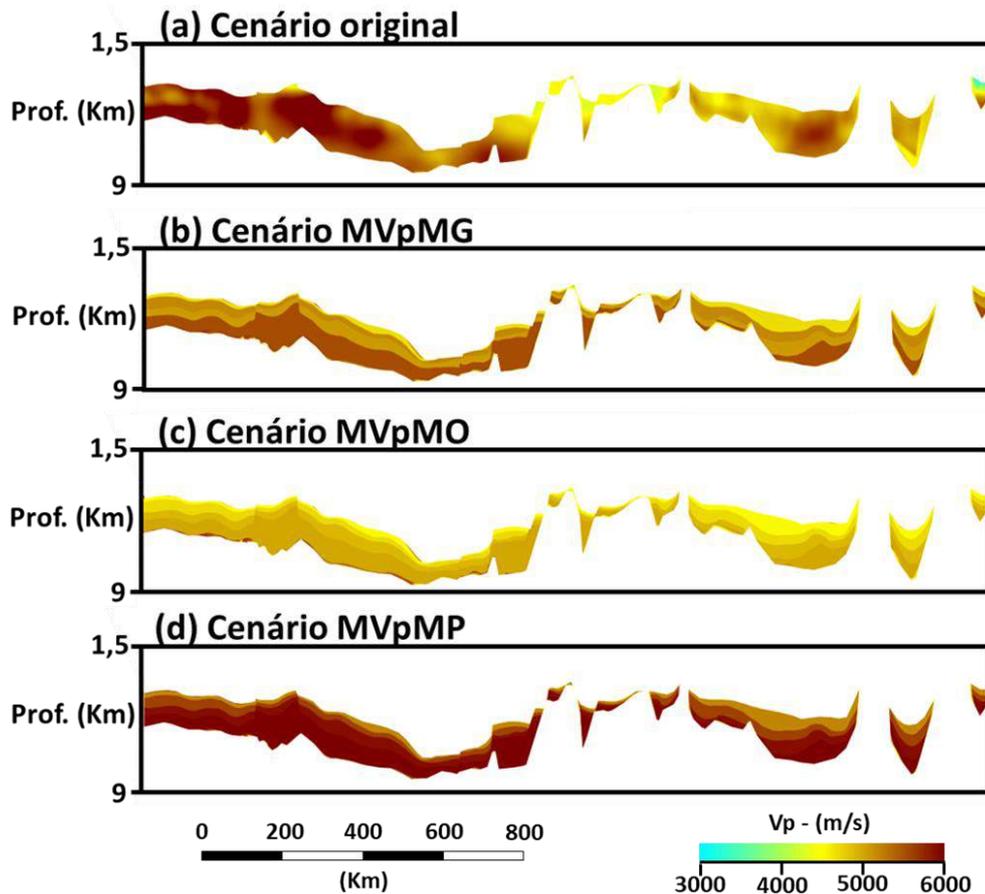


Figura 88 - Modelagem de Vp na seção *strike* intermediária sul. Diferentes cenários resultantes da modelagem da Vp: (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

As diferenças observadas nas superfícies da base do sal (Figura 89) convertidas para profundidade com cada cenário são proporcionais a espessura das camadas modificadas. Na

região das minibacias, onde não existem camadas albianas-cenomanianas, a diferença é zero, ou seja, as superfícies se sobrepõem.

A Figura 90 ilustra a variação percentual entre os cenários, a qual está contida em uma faixa de variação máxima, de -4,4% até 10,7%. O cenário MVpMP, cuja modelagem reflete um aumento da Vp, apresentou uma perda de 4,4% na média da espessura, enquanto no cenário MVpMO, com diminuição da Vp, registrou-se o ganho da média de espessura de 10,7%. Um pouco distante da Vp do processamento, o cenário MVpMG, de média global acusou uma diferença da ordem de 4,1%, (ganho de espessura de 4,1%).

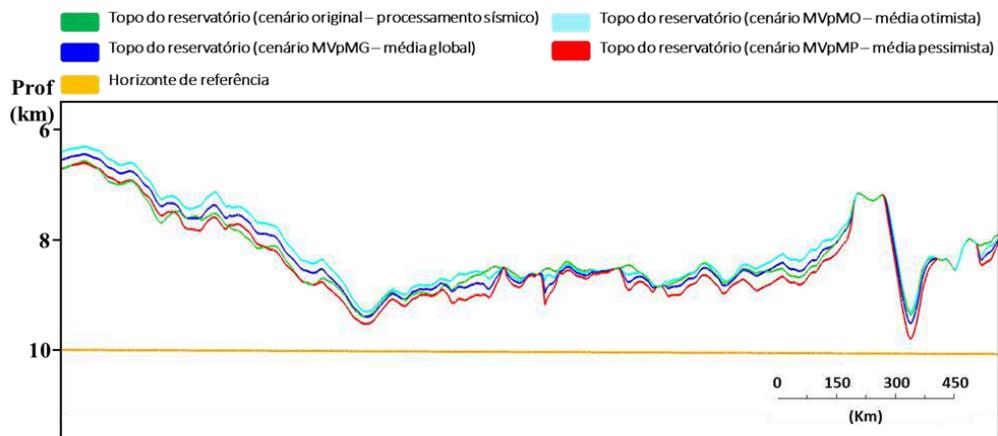


Figura 89 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *strike* intermediária sul. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

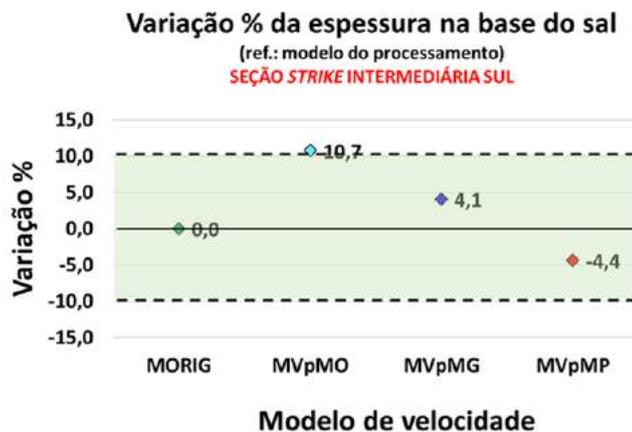


Figura 90 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção *strike* intermediária sul. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

### 8.2.2.3 Seção *strike* intermediária norte

Esta seção não apresenta grandes diápiros ou muralhas de sal, assim, as camadas albianas-cenomanianas são relativamente espessas e contínuas não formando minibacias. É identificada no modelo de velocidades do processamento (Figura 91a) uma região de Vp relativamente mais alta, contínua ao longo da seção, que, de certa forma, representa as camadas estudadas.

Foram introduzidas camadas de Vp intervalares constantes provenientes das análises estatísticas (Tabela 22), ao longo da seção, as quais, além de serem correlacionáveis com a interpretação geológica, estão de acordo com o modelo do processamento (Figura 91).

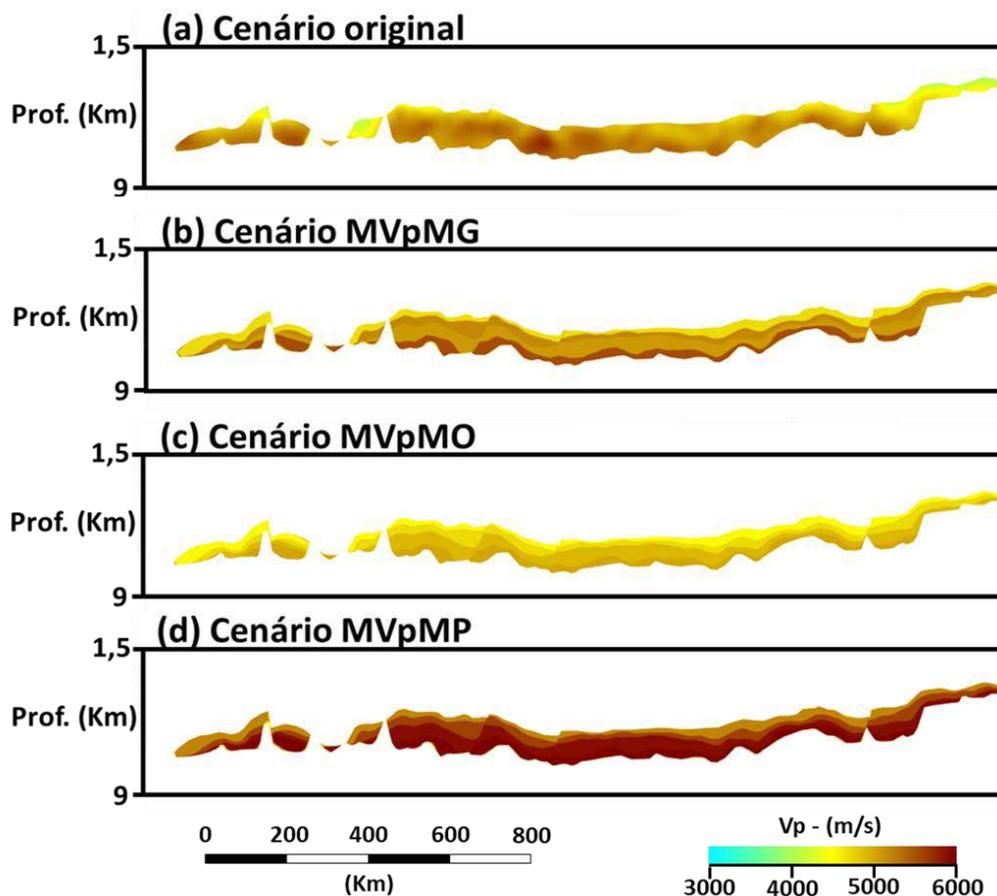


Figura 91 - Modelagem de Vp na seção *strike* intermediária norte. Diferentes cenários resultantes da modelagem da Vp: (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

Analisando as superfícies da base do sal convertidas com cada cenário modelado (Figura 92), praticamente, são atestadas diferenças ao longo de toda a seção, devido a continuidade das zonas modeladas. Somente nas bordas, onde as camadas afinam e, em uma região onde existem

alguns diápiros que as diferenças são minimizadas. Novamente verificamos uma correlação entre a espessura das camadas e a magnitude da diferença.

A variação percentual entre os cenários está contida em uma faixa de variação, de -7,6% até 3,2% (Figura 93). O cenário MVpMP (velocidade mais alta) levou a uma perda da média de espessura de 7,6%, enquanto o cenário MVpMO (velocidade mais baixa) registrou um ganho da média de espessura de 3,2%. As velocidades do cenário MVpMG (média global) ficaram próximas do cenário do processamento, com aspecto acamadado, destacando uma perda mínima de média espessura de 0,9%.

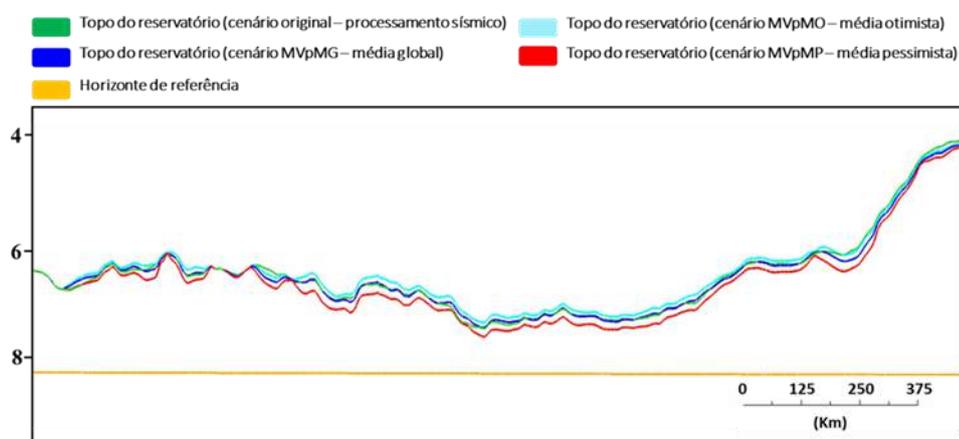


Figura 92 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *strike* intermediária norte. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

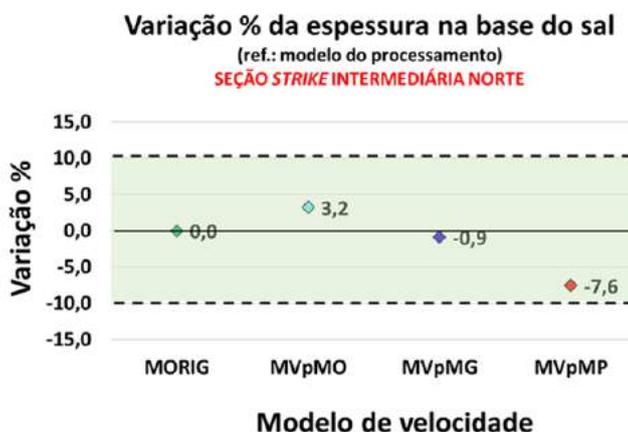


Figura 93 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção *strike* intermediária norte. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

#### 8.2.2.4 Seção *strike* distal sul

A porção SW desta seção contém uma camada de sal delgada e contínua, sobre a qual repousam camadas albianas-cenomanianas contínuas e, relativamente espessas. Na região central da seção, identifica-se a presença de grandes diápiros, os quais seccionam as camadas e formam as minibacias, além de uma grande muralha no extremo NE, sobre a qual, não foram interpretadas zonas albianas-cenomanianas, se assentando diretamente, as camadas do Cretáceo superior. O modelo de velocidades do processamento (Figura 94a) destaca uma região de Vp relativamente mais alta, correlacionável com as camadas estudadas ao longo da seção.

A Figura 94 apresenta a distribuição da Vp intervalar nos diferentes cenários modelados. Novamente, os modelos foram populados com valores oriundos das análises estatísticas (Tabela 22) gerando zonas de Vp intervalares correlacionáveis com as camadas geológicas.

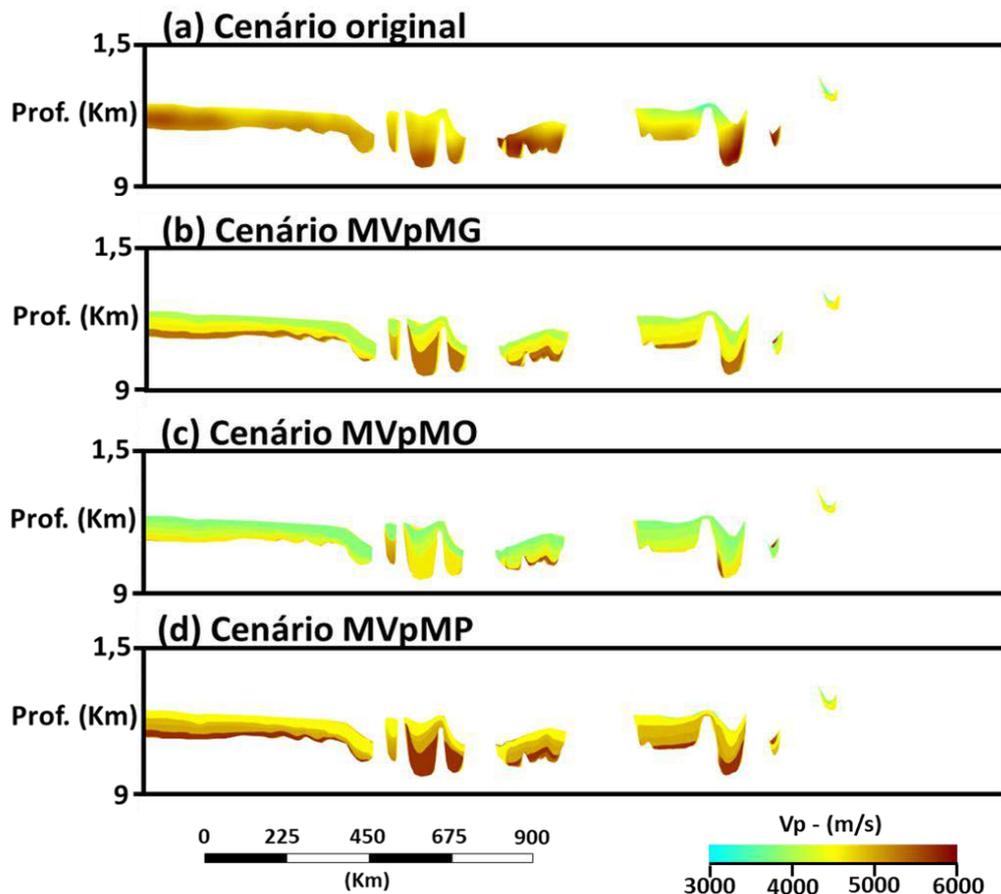


Figura 94 - Modelagem de Vp na seção *strike* distal sul. Diferentes cenários resultantes da modelagem da Vp: (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

A Figura 95 ilustra as superfícies da base do sal convertidas com cada cenário modelado.

Duas observações, já constatadas nas seções anteriores, são feitas: somente existem diferenças entre os horizontes apenas onde existem camadas albianas-cenomanianas, e, as diferenças são diretamente proporcionais a espessura destas camadas.

A variação percentual máxima, entre os cenários, foi de -0,5% até 6,9% (Figura 96). Diferente das linhas anteriores, o cenário MVpMG (média global) apresentou um ganho de média espessura de 3,3%. O cenário MVpMP (velocidade mais alta) levou a uma perda da média de espessura de 0,5%, sendo, nesta seção, este o mais próximo da Vp do processamento. O cenário MVpMO (velocidade mais baixa) registrou um ganho da média de espessura de 6,9%.

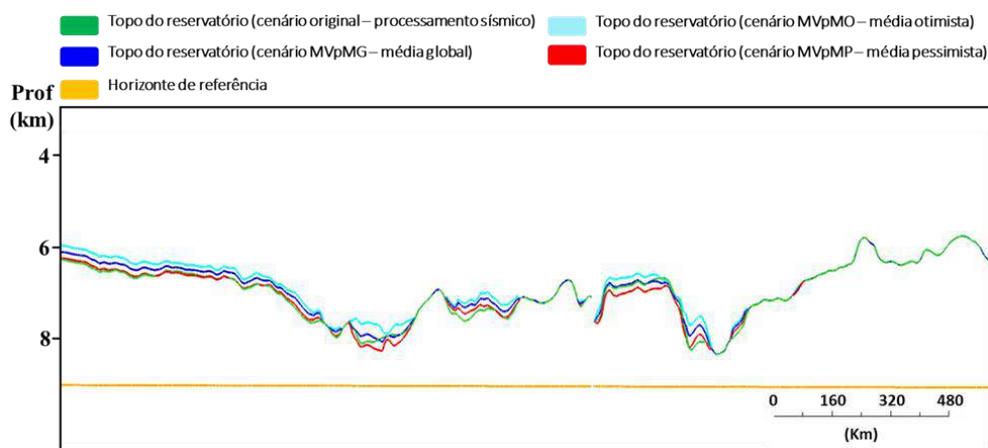


Figura 95 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção strike distal sul. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

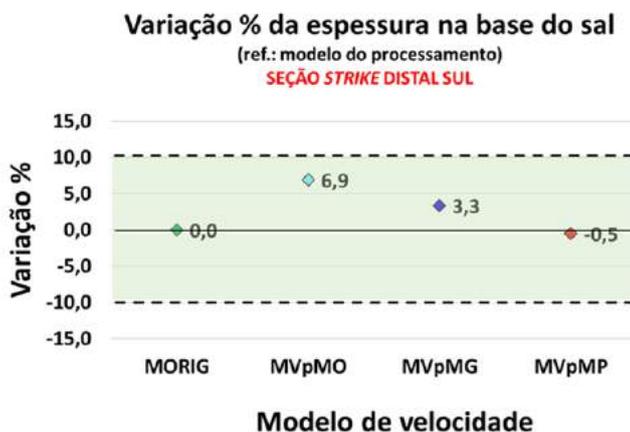


Figura 96 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção strike distal sul. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

### 8.2.2.5 Seção *strike* distal norte

Esta seção está praticamente toda contida na região de grandes diápiros e muralhas, resultando assim, em camadas albianas-cenomanianas com geometria de minibacias. Apenas na porção NE, próximo ao Alto de Cabo Frio, estas camadas se apresentam de forma mais tabular e contínua. Aparentemente, a Vp do processamento (Figura 97a) destaca uma região de Vp relativamente mais alta, associada às camadas estudadas ao longo da seção.

Mais uma vez, os modelos editados foram populados com valores procedentes das análises estatísticas (Tabela 22) criando zonas de Vp intervalares constantes ao longo da seção e, correlacionáveis às camadas geológicas estudadas (Figura 97).

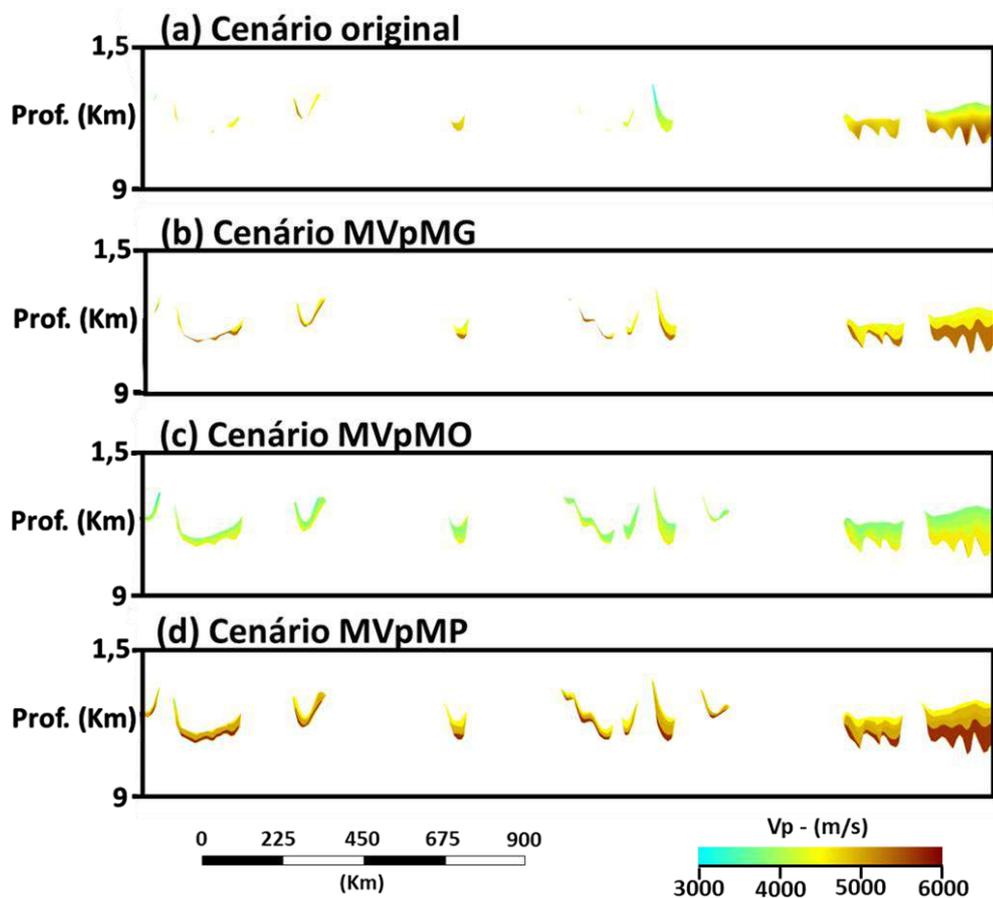


Figura 97 - Modelagem de Vp na seção *strike* distal norte. Diferentes cenários resultantes da modelagem da Vp: (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

As superfícies da base do sal convertidas com o cenário original e, com cada cenário modelado são ilustradas na Figura 98. As mesmas constatações feitas nas seções anteriores, são observadas: diferenças apenas existem camadas albianas-cenomanianas e, proporcionalidade

entre variação e espessura. Na maior parte da seção, nota-se a sobreposição das superfícies fato este que nos leva a questionar se, nesta região da bacia, as camadas albianas-cenomanianas tem relevância relativa em termos de modelagem de velocidade.

A, relativamente pequena, faixa de variação percentual máxima observada foi de -3,9% até 1,2% (Figura 99). O cenário MVpMG (média global) voltou a se aproximar da Vp do processamento e a apresentar uma perda de média espessura de 1,4%, enquanto o cenário MVpMP (velocidade mais alta) levou a uma perda da média de espessura de 3,9%, e o cenário MVpMO (velocidade mais baixa) registrou um ganho da média de espessura de 1,2%.

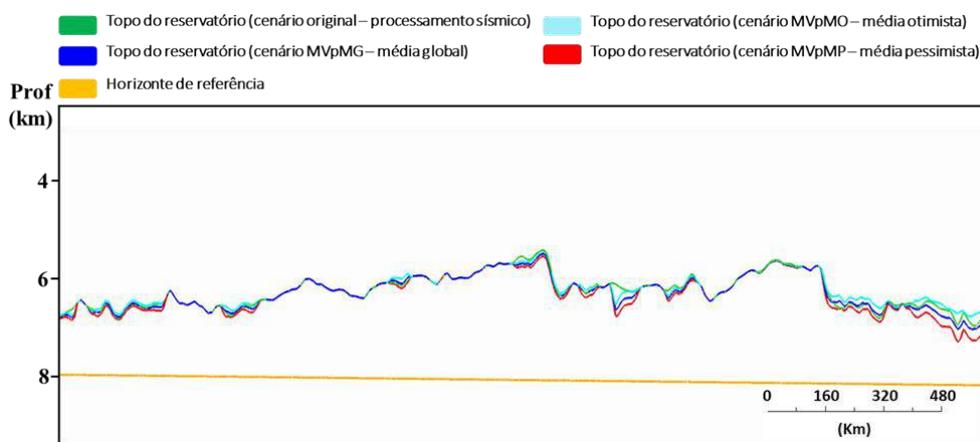


Figura 98 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *strike* distal norte. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

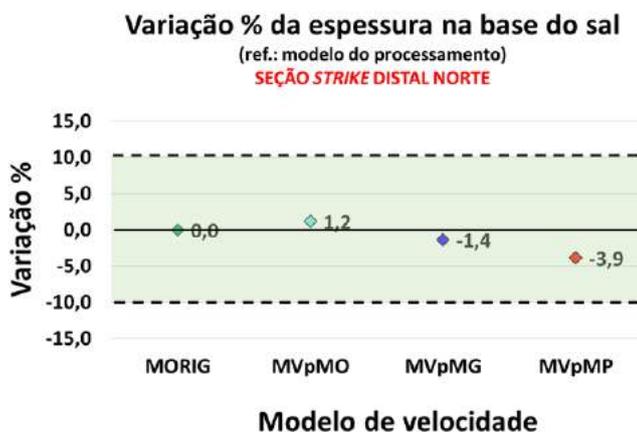


Figura 99 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção *strike* distal norte. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

### 8.2.2.6 Seção *dip* extremo sul

Esta seção está em sua totalidade, contida em região de sal delgado, com pequenas almofadas, o que proporcionou o desenvolvimento de camadas relativamente espessas e contínuas durante todo o Albiano-Cenomaniano. Com a exceção de uma anomalia circular de velocidade baixa, o modelo do processamento (Figura 100a) apresenta uma distribuição compatível com a geologia da região a qual a seção atravessa: na região proximal, tende a uma Vp mais baixa associada à litofácies predominantemente siliciclásticas, passando pela região intermediária com Vp mais alta, associada à plataforma carbonática, até a região distal, novamente com Vp mais baixa.

Os valores procedentes das análises estatísticas (Tabela 22) foram utilizados para a criação dos modelos de cada cenário. A distribuição da Vp intervalar nos diferentes cenários modelados é observada na Figura 100.

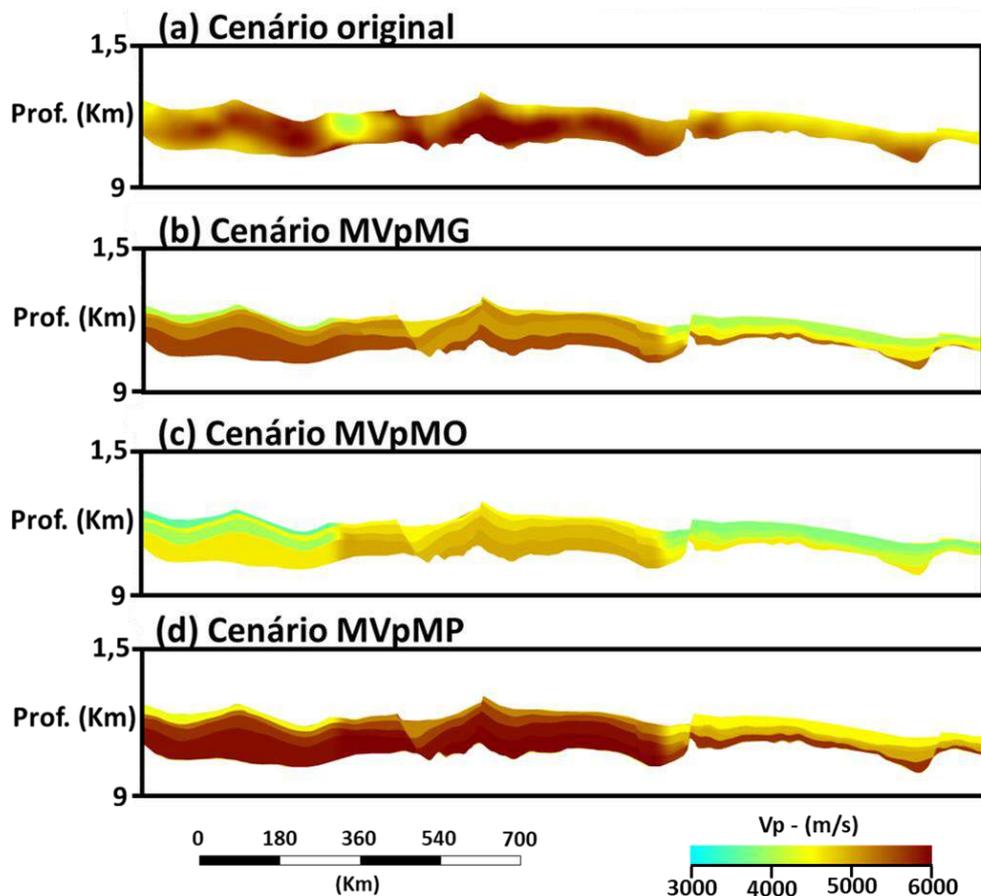


Figura 100 - Modelagem de Vp na seção *dip* extremo sul. Diferentes cenários resultantes da modelagem da Vp: (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

Visualmente, em todos os modelos destaca-se o padrão acamado da Vp, correlacionável com as camadas albianas-cenomanianas e, com a variação lateral da Vp, referente aos setores da bacia.

Diferentemente das linhas *strike*, nas quais a velocidade das zonas albianas-cenomanianas ficaram constantes ao longo da seção (as seções *strike* estão sempre posicionadas em um mesmo setor da bacia), nas linhas *dip*, é observada uma variação lateral de velocidades, nas interfaces entre os setores da bacia, pois todas estas linhas *dip* atravessam os três setores.

Na Figura 101 se observa as superfícies da base do sal convertidas com cada cenário modelado. As camadas albianas-cenomanianas são contínuas em toda a seção o que corrobora a existência de diferenças em todos os locais. Além disso, como constatado anteriormente nas seções *strike*, mesmo com a variação lateral de velocidades, as diferenças são diretamente proporcionais a espessura destas camadas. Além disso, é observado que a diferença é, visivelmente, maior no setor proximal que nos demais setores intermediário e distal.

A Figura 102 ilustra a variação percentual máxima entre os cenários, a qual está contida em uma faixa de -4,1% até 14,9%. Os cenários MVpMG (média global) e MVpMP (velocidade mais alta) são relativamente próximos ao cenário do processamento, apresentando, respectivamente, um ganho na média da espessura de 4,1% e, uma perda na média da espessura de 4,1%. Já o cenário MVpMO (velocidade mais baixa) se distancia consideravelmente do modelo original, registrando um ganho da média de espessura de 14,9% (o maior entre todas as seções), devido a uma diminuição considerável da Vp na região proximal.

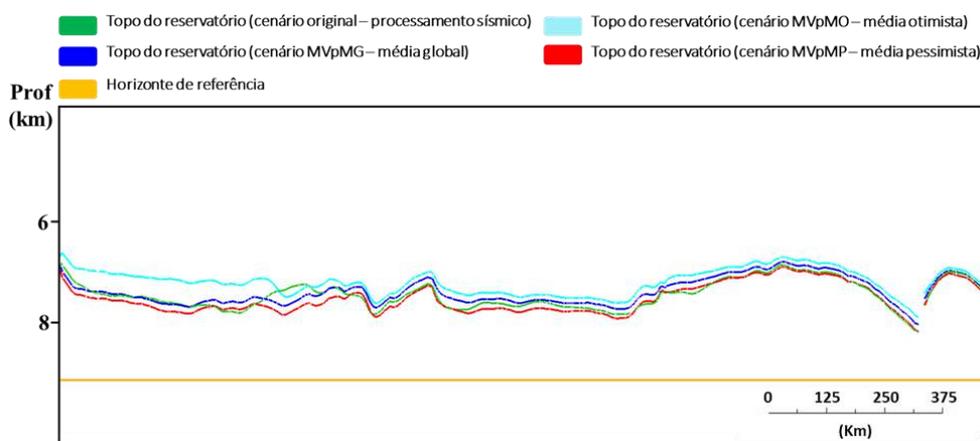


Figura 101 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *dip* extremo sul. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

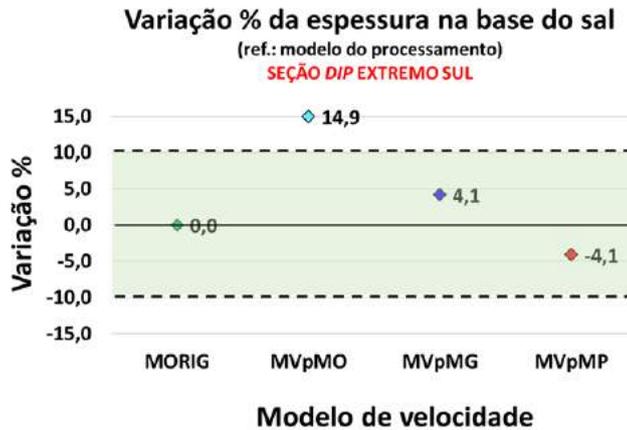


Figura 102 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção *dip* extremo sul. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

### 8.2.2.7 Seção *dip* sul

A seção está contida em domínios tectônicos diferentes: a porção proximal, em domínio distensional, apresenta refletores contínuos de alto mergulho, devido à proximidade da borda da bacia, que tendem a se horizontalizar no sentido do setor intermediário enquanto, a partir do centro da seção até o setor distal, são identificados grandes diápiros e algumas muralhas de sal, já no domínio compressional, que tendem a seccionar as camadas albianas-cenomanianas e formar as minibacias. Embora com distribuição irregular das velocidades nas camadas de interesse, o modelo do processamento (Figura 103a) tende a representar uma distribuição compatível com a geologia da área, desde o afinamento das camadas *updip* na região proximal, passando por uma região de mais alta  $V_p$ , associada à plataforma carbonática, no setor intermediário até as minibacias no setor distal, com  $V_p$  relativamente mais baixa.

A Tabela 22 provê os valores oriundos das análises estatísticas que foram utilizados para a criação dos modelos de cada cenário. Da mesma forma que a linha *dip* extremo sul, nas interfaces entre os setores da bacia, é observada uma variação lateral de velocidades devido a sua posição espacial atravessar os três setores da bacia (Figura 103). Em todos os modelos verifica-se o padrão acamadado da  $V_p$ , correlacionável com as camadas albianas-cenomanianas, principalmente no setor proximal/intermediário, onde as camadas são mais espessas, mas também na região de afinamento e nas minibacias. Também é registrada a variação lateral da  $V_p$ , referente as interfaces entre os setores da bacia.

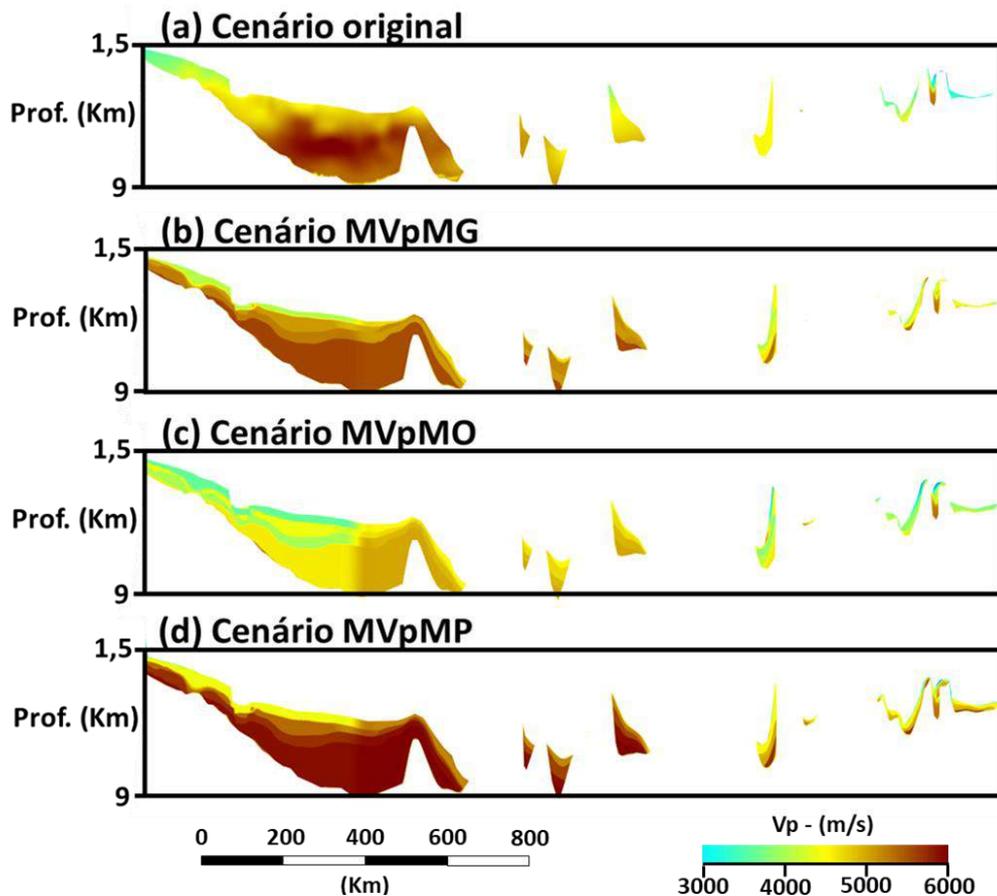


Figura 103 - Modelagem de  $V_p$  na seção *dip* sul. Diferentes cenários resultantes da modelagem da  $V_p$ : (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

Assumindo a premissa que as diferenças são diretamente proporcionais a espessura destas camadas, foi constatado que as maiores variações estão próximas a interface entre os setores proximal-intermediário. Isto é claramente percebido na Figura 104, a qual ilustra as superfícies da base do sal convertidas com cada cenário modelado, onde observam-se essas diferenças máximas na região proximal-intermediária. Atesta-se ainda, que na região das minibacias, no setor distal, as diferenças ou são minimizadas ou inexistentes.

A variação percentual entre cada cenário modelado, em relação ao modelo original, está compreendida na faixa de variação de -4,0% até 3,2% (Figura 105). O cenário MVpMP ( $V_p$  mais alta) levou a uma perda da média de espessura de 4,0%, enquanto o cenário MVpMO ( $V_p$  mais baixa) registrou um ganho da média de espessura de 3,2% e, finalmente, o cenário MVpMG (média global) se aproxima muito do cenário do processamento, mas, com aspecto acamadado, com uma perda mínima de média espessura de 1,4%. Aqui, vale ressaltar uma nova constatação: quando a área de interesse de algum projeto estiver no domínio dos diápiros e

muralhas de sal, onde as camadas albianas-cenomanianas são delgadas, contínuas ou formando minibacias ou ainda, inexistentes, a variação entre os cenários modelados é minimizada, levando ao questionamento da importância destas camadas no modelo geológico de velocidades.

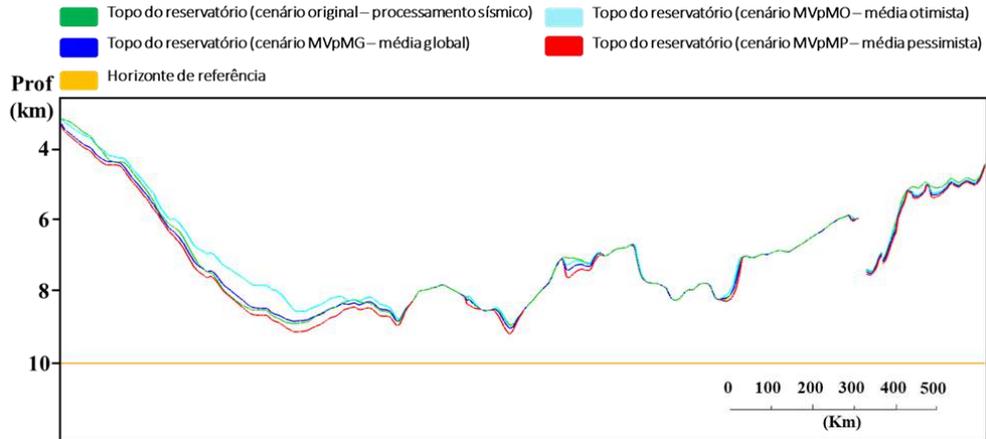


Figura 104 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *dip* sul. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

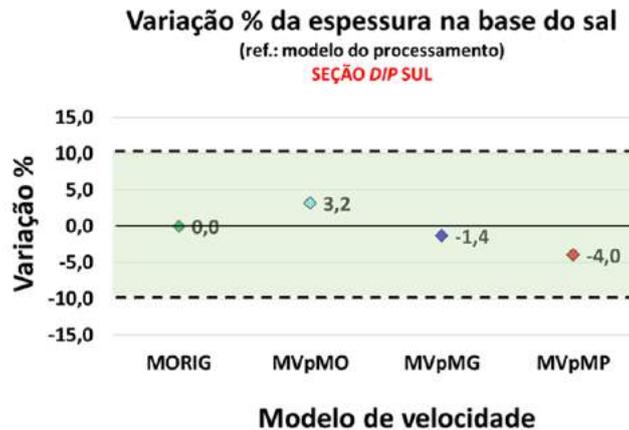


Figura 105 – Variação % entre os cenários de modelagem na seção *dip* sul. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

#### 8.2.2.8 Seção *dip* centro

Esta seção é bastante similar a seção *dip* sul. A porção proximal-intermediária está contida em domínio distensional, apresentando refletores contínuos de alto mergulho, próximos a borda da bacia, e de baixo mergulho ao entrar no setor intermediário, extremamente afetados por falhas normais. Já a região intermediária-distal já se encontra no domínio compressional, onde notam-se grandes diápiros e algumas muralhas de sal, que controlam a formação das minibacias ou camadas muito delgadas sobre as muralhas. O modelo do processamento (Figura 106a) indica uma distribuição das velocidades compatível com a geologia da área. Estão bem representados o *pinch* das camadas *updip* na região proximal, a região de mais alta Vp, associada à plataforma carbonática, no setor intermediário e as minibacias no setor distal, com Vp relativamente mais baixa. Apenas as camadas delgadas distais, sobre a muralha de sal não estão representadas.

Os valores provenientes das análises da Vp nos poços, para a modelagem de cada cenário estão sumarizados na Tabela 22. As camadas com velocidade editada estão presentes em todos os modelos, com maiores espessuras no setor proximal/intermediário (Figura 106). Similar a linha *dip* sul, foi introduzida a variação lateral de velocidades nas interfaces entre os setores da bacia, entretanto, devido ao seccionamento das camadas modeladas por falhas normais e/ou pelos diápiros, esta variação não é tão visível.

Na Figura 107, analisamos as superfícies da base do sal convertidas com cada cenário modelado. Observa-se a correlação entre a espessura das camadas e a magnitude da diferença e, em decorrência disso, que as maiores diferenças estão no setor proximal-intermediário. No setor distal, área das minibacias, entre os diápiros e das camadas delgadas acima das muralhas de sal, as diferenças são minimizadas.

A variação percentual entre cada cenário modelado, em relação ao modelo original, é representada pela faixa de variação de -3,2% até 2,3% (Figura 108). Assim como a seção *dip* sul, quanto menor a espessura das camadas, menor será a faixa de variação, em relação ao modelo original. Mais uma vez, o cenário MVpMG (média global) se aproxima do cenário do processamento, com aspecto acamadado, registrando uma perda mínima de média espessura de 0,9%. Os cenários MVpMP (Vp mais alta) e MVpMO (Vp mais baixa) também ficam semelhantes ao original, atestando uma perda da média de espessura de 3,2%, e um ganho da média de espessura de 2,3%, respectivamente.

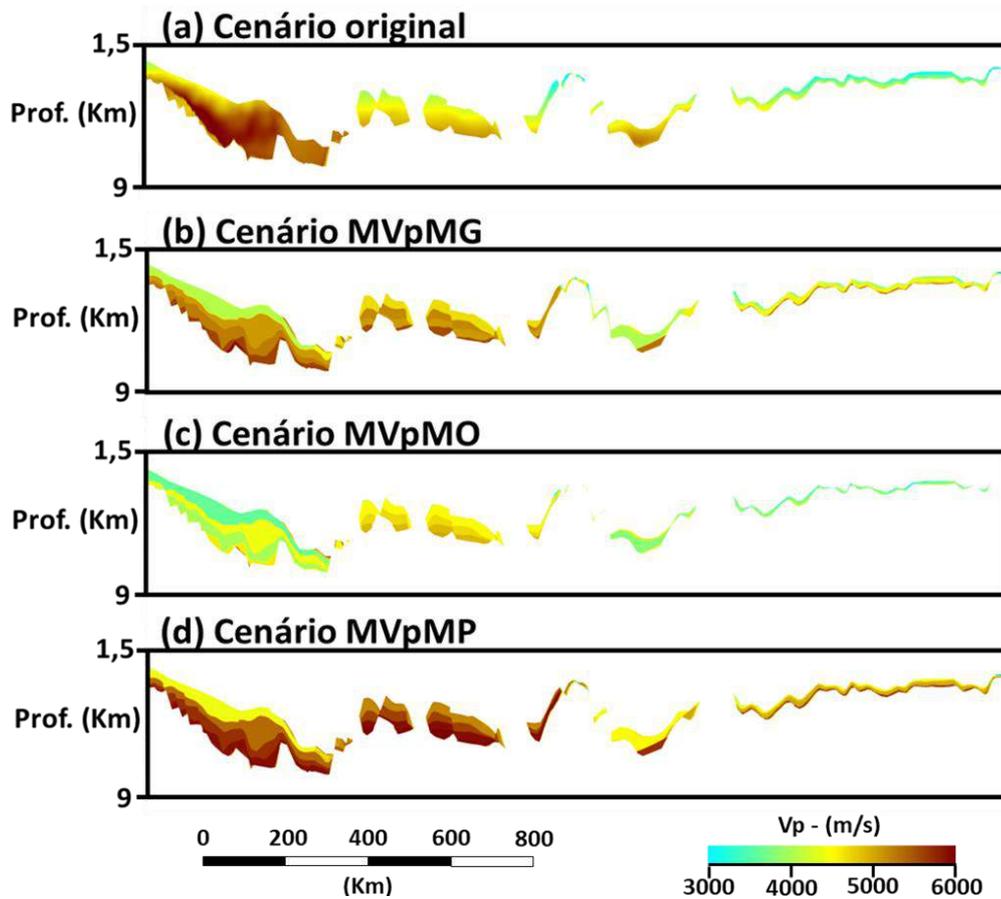


Figura 106 - Modelagem de  $V_p$  na seção *dip* centro. Diferentes cenários resultantes da modelagem da  $V_p$ : (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

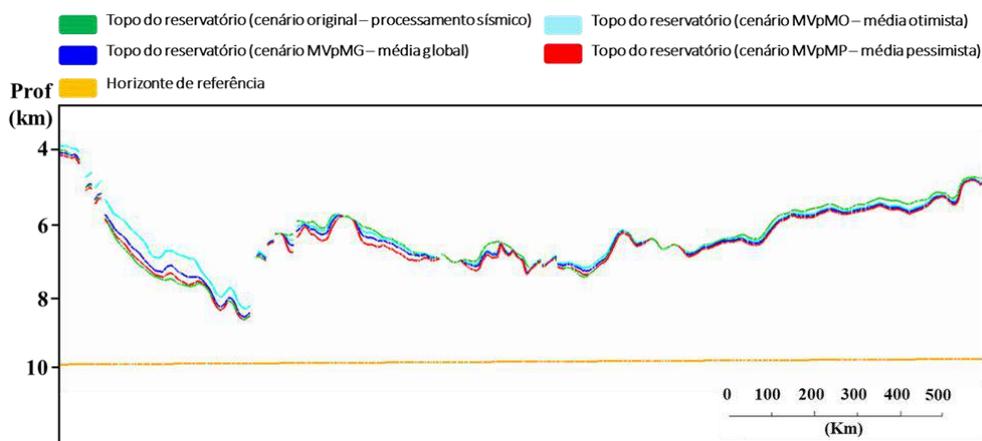


Figura 107 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *dip* centro. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

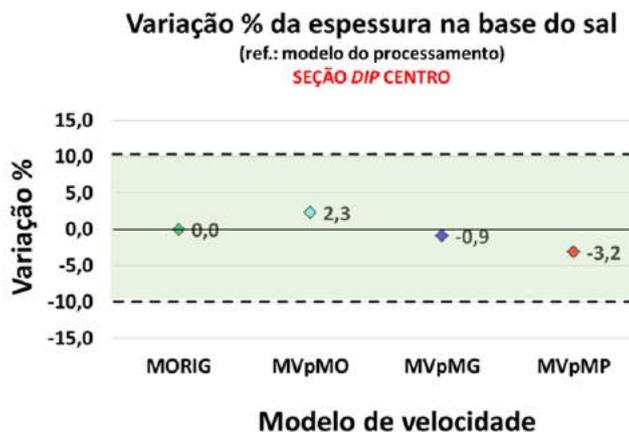


Figura 108 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção *dip* centro. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

### 8.2.2.9 Seção *dip* norte

Do mesmo modo que a seção *dip* centro, esta seção está contida em domínios tectônicos diferentes. As porções proximal e intermediária estão em domínio distensional, com camadas albianas-cenomanianas contínuas e espessas, sobre camada de sal delgada com algumas almofadas. Já a porção distal, se encontra em domínio compressional, com alguns grandes diápiros e minibacias associadas e, uma extensa muralha de sal, sobre a qual repousam camadas contínuas, porém, bem mais delgadas que as do setor proximal. Exceto por uma anomalia de baixa velocidade no limite proximal e, pela inexistência das camadas sobre a muralha de sal, as velocidades do modelo do processamento (Figura 109a) indicam uma distribuição visual, em compatibilidade com a interpretação sísmica elaborada.

A modelagem (Figura 109) introduziu camadas de Vp intervalares com variação lateral, provenientes das análises estatísticas (Tabela 22), as quais, são correlacionáveis com a interpretação geológica além de estarem de acordo com o modelo do processamento.

A Figura 110 apresenta as superfícies da base do sal convertidas com cada cenário modelado. A maior parte das diferenças está concentrada na região proximal, devido a maior espessura das camadas. Conforme as camadas deixam de ser contínuas, afinam e/ou se transformam em minibacias, em direção aos setores intermediário e distal, as diferenças ou vão sendo minimizadas ou se tornam inexistentes.

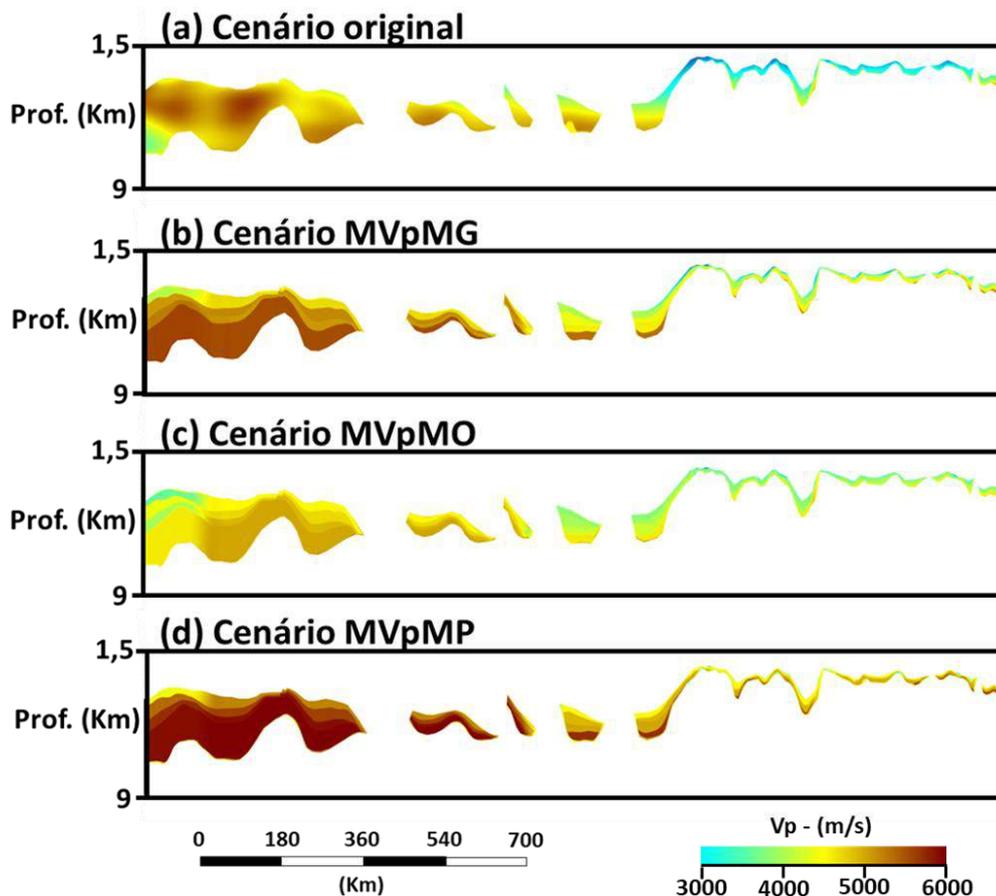


Figura 109 - Modelagem de  $V_p$  na seção *dip* norte. Diferentes cenários resultantes da modelagem da  $V_p$ : (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

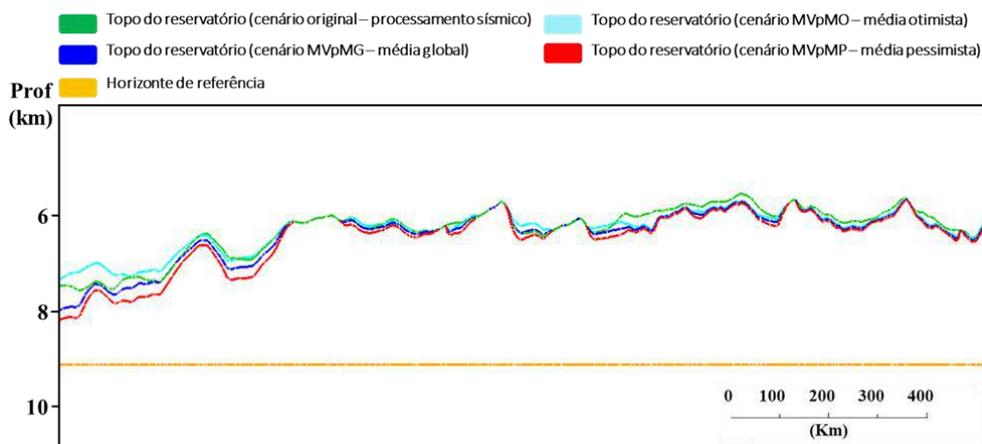


Figura 110 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *dip* norte. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

A faixa de variação percentual entre os cenários, de -6,0% até -0,1% pode ser observada na Figura 111. Esta seção é o primeiro caso em que todos os cenários indicam uma perda de

média de espessura, em relação ao cenário do processamento. O cenário MVpMP (Vp mais alta) levou a uma perda da média de espessura de 6,0%, enquanto o cenário MVpMO (Vp mais baixa) registrou uma perda da média de espessura de 0,1% e, cenário MVpMG (média global), constata uma perda de média espessura de 3,3%.

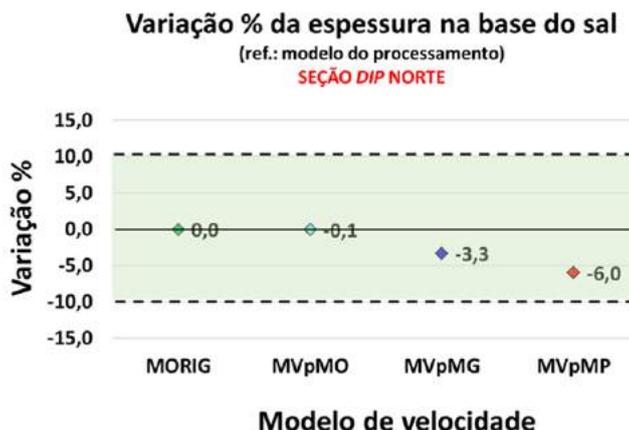


Figura 111 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção *dip* norte. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

### 8.2.2.10 Seção *dip* extremo norte

Esta seção é a que apresenta as camadas albianas-cenomanianas mais delgadas e seccionadas dentre todas. Ela vai desde a borda da bacia, onde se observa a linha de charneira do Cretáceo (*pinch* das camadas cretácicas) até a região de sal espesso, na porção distal. Também está contida em domínios tectônicos diferentes. A região proximal apresenta camadas albianas-cenomanianas contínuas e pouco espessas, sobre camada de sal delgada com algumas almofadas em domínio distensional. A porção distal, em domínio compressional, conta com grandes diápiros e, minibacias associadas e, algumas muralhas de sal, com camadas contínuas e muito delgadas sobrepostas.

Como observado em todas as linhas *dip*, a modelagem desta seção (Figura 112) também criou camadas de velocidades intervalares com variação lateral nos limites entre os setores da bacia, cuja fonte, foram as análises estatísticas da Vp nos poços (Tabela 22).

Visualmente, as camadas que representam o Albiano-Cenomaniano no modelo do processamento (Figura 112a) apresentam uma distribuição de velocidades que não segue a fidedignamente a interpretação, além de não estarem representadas na porção distal, sobre a muralha de sal.

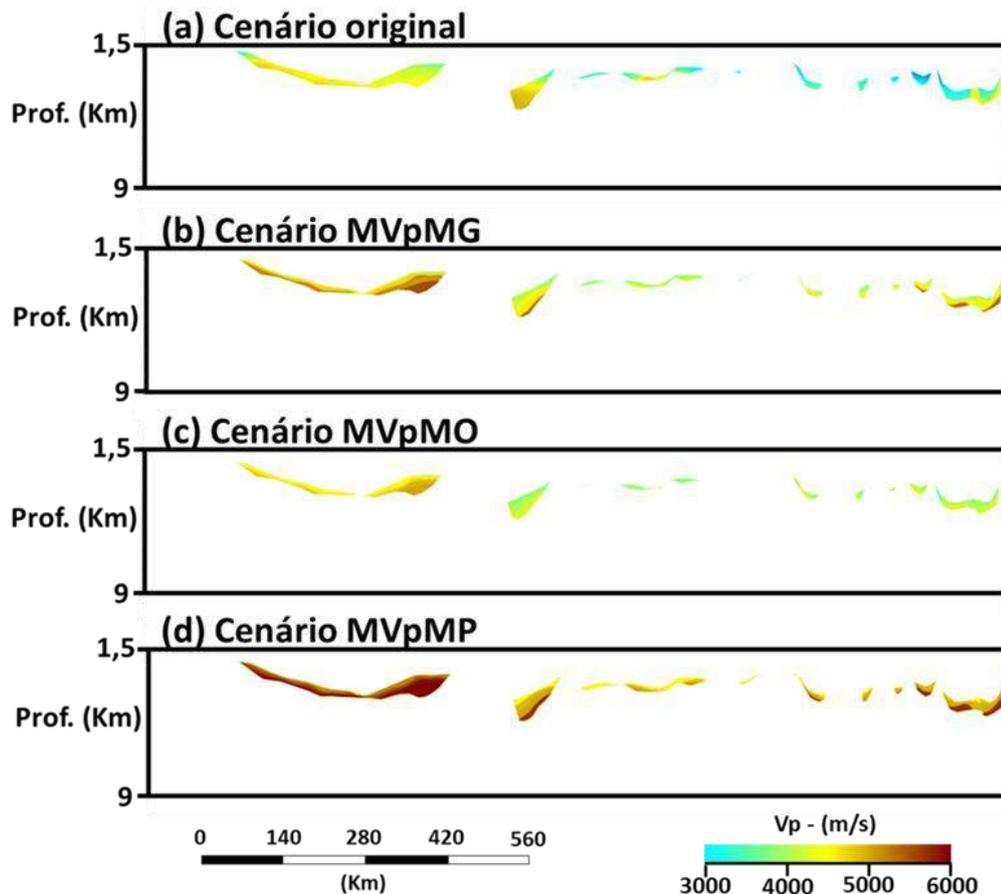


Figura 112 - Modelagem de  $V_p$  na seção *dip* extremo norte. Diferentes cenários resultantes da modelagem da  $V_p$ : (a) original (processamento); (b) MVpMG (média global); (c) MVpMO (média otimista); (d) MVpMP (média pessimista). Fonte: o Autor.

Devido a pequena espessura ou inexistência das camadas modeladas, pequenas diferenças entre as superfícies convertidas da base do sal são observadas (Figura 113). Em grande parte da seção, nota-se a sobreposição das superfícies reforçando a constatação de que, nestas regiões (de diápiros e muralhas), as camadas albianas-cenomanianas tem relevância relativa mínima, em se tratando de incertezas associadas à modelagem de velocidades.

Além disso, quantitativamente, observa-se também uma faixa de variação percentual muito pequena (a menor dentre todas as seções), entre o modelo do processamento e os cenários modelados, de -1,9% até -0,5% (Figura 114). O cenário mais próximo do modelo original, foi o cenário MVpMO ( $V_p$  mais baixa) que registrou uma perda da média de espessura de 0,5%. Os demais cenários, MVpMG (média global) e MVpMP ( $V_p$  mais alta), apresentaram perdas de média espessura de 1,2% e 1,9%, respectivamente.

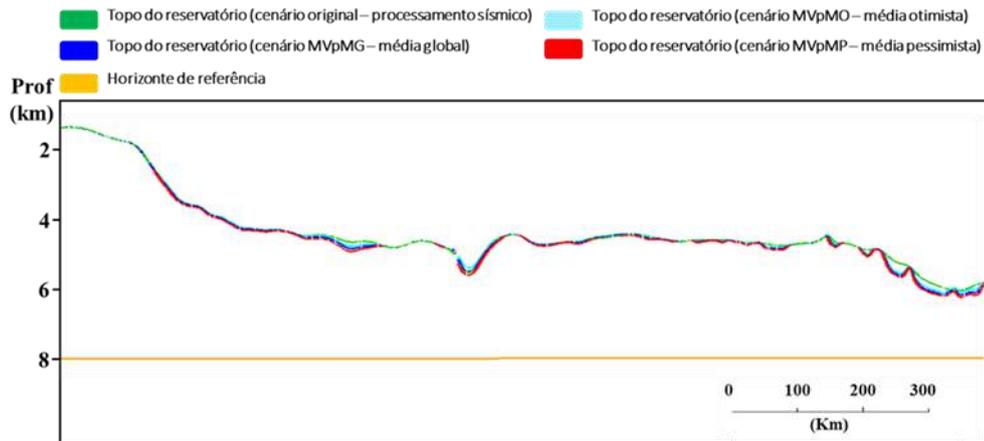


Figura 113 - Conversão tempo-profundidade da base do sal na seção *dip* extremo norte. Resultados das conversões: verde (modelo original), azul escuro (cenário MVpMG), azul claro (cenário MVpMO) e vermelho (cenário MVpMP). Em laranja, a superfície de referência usada na quantificação %. Fonte: o Autor.

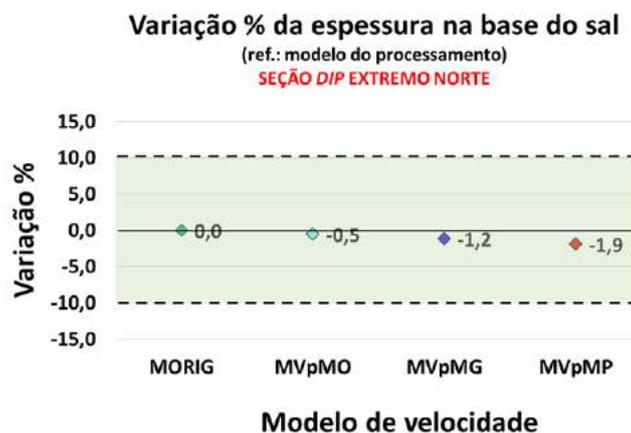
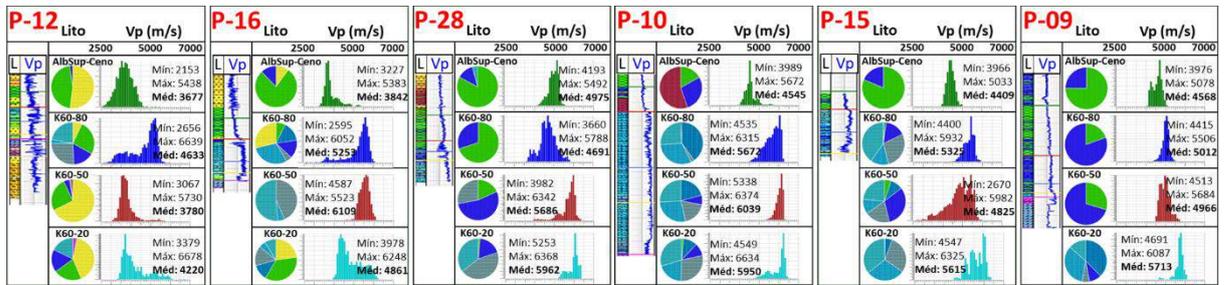
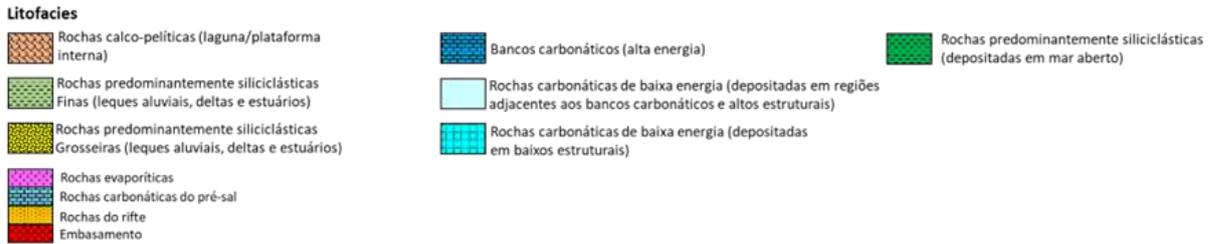
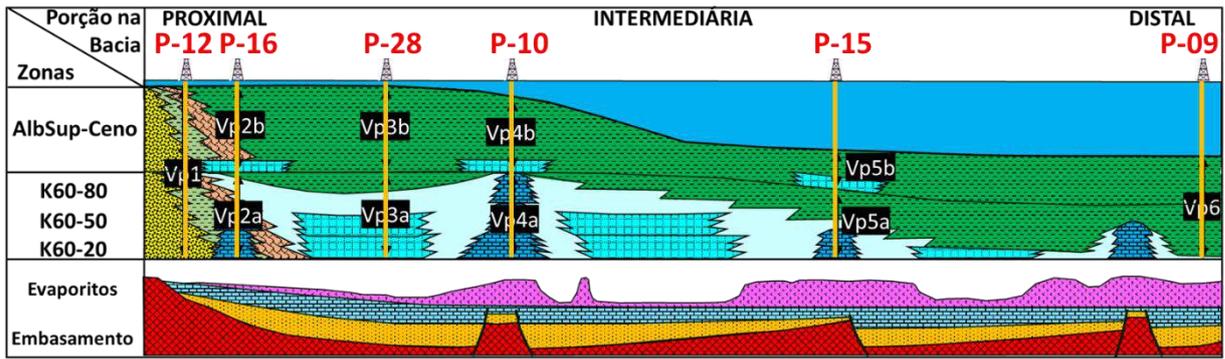


Figura 114 - Variação % entre os cenários de modelagem na seção *dip* extremo norte. Quantificação da diferença da média das espessuras entre o cenário original e os cenários de modelagem, MVpMG, MVpMO e MVpMP. Fonte: o Autor.

### 8.2.3 Relação litofácies e velocidade compressional

Aa análises estatísticas combinadas de Vp e litologia evidenciaram uma forte correlação entre estas propriedades, propiciando uma análise que relacionou os grupos de litofácies descritos nos mapas com velocidades das camadas.

A Figura 115 propõe um "posicionamento" dos modelos das velocidades compressionais, e sua relação com os grupos de litofácies identificados nos mapas de litofácies, em cada zona estratigráfica estudada, nos diferentes setores da Bacia de Santos.



Vp (velocidade compressional)  
L/Lito (Litologia)

ARN	Arenito	MRG	Marga	SLT	Silito
FLH	Folhelho	MUD	Mudstone	WCK	Wackstone
GRN	Grainstone	PCK	Packstone		

Figura 115 - Proposta de relação litofácies x Vp ao longo do Albiano-Cenomaniano, na Bacia de Santos. Seção esquemática relacionando litofácies e velocidade e poços representativos de cada região. Fonte: o Autor.

Na Região proximal, onde predominam litotipos siliciclásticos de borda de bacia (Formação Florianópolis de [Moreira et al., 2007](#)), espera-se uma menor Vp (Vp1), ao longo de todo o Albiano-Cenomaniano. Eventualmente, litotipos carbonáticos ocorrem no setor proximal, aumentando a velocidade das zonas, como é o caso da Vp2a, no Albiano Inferior e da Vp2b, no Albiano Superior-Cenomaniano.

Nas regiões proximal-intermediária e intermediária observa-se a predominância dos litotipos carbonáticos plataformais rasos com mais alta Vp no Albiano Inferior (Vp3a e Vp4a), pertencentes a Formação Guarujá ([Moreira et al., 2007](#)). Relativamente, a Vp3a estaria associada à bancos carbonáticos de alta energia, mais porosos, sendo menor que a Vp4a, associada à rochas carbonáticas de baixa energia (depositadas em regiões adjacentes aos bancos carbonáticos e altos estruturais ou depositadas em baixos estruturais). No Albiano Superior-Cenomaniano (Formação Itanhaém, de [Moreira et al., 2007](#)), as velocidades tendem a ser mais

baixas, dependendo se os litotipos são predominantemente siliciclásticos ou mistos (Vp3b) ou com alguma contribuição carbonática (VP4b).

Em direção a região distal, no Albiano Inferior (Formação Itanhaém, de [Moreira et al., 2007](#)), observa-se a predominância de litotipos siliciclásticos e mistos, associados a deposição em mar aberto, além de litotipos carbonáticos plataformais profundos (deposição em plataforma externa). Eventualmente bancos carbonáticos de alta energia, associados a altos estruturais do embasamento ou sobre diápiros e/ou muralhas de sal podem aparecer. Nestes cenários, a Vp5a pode ser relativamente maior que a Vp6. Com o predomínio de litotipos siliciclásticos e mistos, (deposição em mar aberto), no Albiano Superior-Cenomaniano (Formação Itanhaém, de [Moreira et al., 2007](#)), as velocidades tendem a ser relativamente mais baixas, dependendo se existe alguma contribuição carbonática (Vp5b) se os litotipos são predominantemente siliciclásticos ou mistos com (Vp6).

#### 8.2.4 Discussão

A distribuição de Vp está intimamente relacionada com a distribuição das litofácies na bacia, cuja variação lateral é produto do ambiente deposicional ativo na bacia, ao longo do Albiano-Cenomaniano. A compreensão do ambiente de deposição, ativo na bacia se faz extremamente importante, uma vez que regiões com mais litofácies siliciclásticas terão Vp relativamente mais baixas do que regiões com mais litofácies carbonáticas.

Os resultados das análises estatísticas confirmam que o intervalo Albiano-Cenomaniano da Bacia de Santos contém uma série de heterogeneidades que constituem domínios de velocidade distintos, geralmente não incorporados em modelos de velocidade. Resultado da análise litológica, as rochas que compõem a maior parte das camadas albianas-cenomanianas são constituídas por litotipos siliciclásticos (folhelhos, arenitos e siltitos), carbonáticos de baixa energia (*mudstones* e *wackstones*) e de alta energia (*packstones* e *grainstones*) e, mistas, siliciclástico-carbonáticas (margas). Isto implica em uma faixa de variação da Vp, de 2500 até 6500 m/s (Figura 83) e Tabela 22), em concordância com valores descritos em [Thomas \(2000\)](#) (Figura 84).

Em [Camargo et al. \(2023\)](#) é apresentada uma faixa de variação de velocidades derivadas de perfis de poços, em dados da Bacia de Campos, similar à que foi proposta neste projeto e àquela definida por [Thomas \(2000\)](#). Além disso, a distribuição vertical das velocidades é condizente com o modelo proposto neste estudo, no setor intermediário da bacia. Os autores

dividem os *rafts* carbonáticos da Bacia de Campos, em três sequências estratigráficas, a partir da identificação das tendências de velocidade observadas nos poços. Também é sugerido que a divisão dessas sequências leve a um agrupamento de diferentes comportamentos de velocidade, aventando a possibilidade de características distintas para cada sequência estratigráfica.

A metodologia de modelagem de velocidades aplicada, fez com que cada modelo assumisse um padrão acamadado cuja variação da velocidade foi constante (linhas *strike*) ou variante lateralmente (linhas *dip*), em cada zona estratigráfica. Já a abordagem de modelagem geológica de velocidades ([Maul et al., 2014b](#), [Maul et al., 2014c](#) e [Maul et al., 2016](#)), escolhendo um critério, não necessariamente o mesmo, mas, alterando a velocidade, restritamente, na camada estudada vem sendo aplicada em diversos trabalhos, como os de [Maul et al. \(2015\)](#), [Gobatto et al. \(2016\)](#), [Falcão \(2017\)](#), [Pontes et al. \(2019\)](#), [Maul \(2020\)](#) e [Maul et al. \(2021b\)](#), todos para camada evaporítica salina, [Camargo et al. \(2021\)](#), [Camargo \(2022\)](#) e [Camargo et al. \(2023\)](#) em *rafts* carbonáticos na Bacia de Campos, e [Oliveira et al. \(2015\)](#), na modelagem de rochas ígneas intrusivas e/ou extrusivas, nas seções do pós-sal da Bacia de Santos. Nessa pesquisa, foi utilizada uma metodologia similar à aplicada em [Camargo \(2022\)](#), [Camargo et al. \(2022\)](#), [Camargo et al. \(2023\)](#), por se tratar do mesmo material em análise, apesar de em bacias, apenas, adjacentes, quando a autora confeccionou seus modelos (e), (f) e (g). Aqui, foram utilizadas as médias das velocidades intervalares, definidas em toda a distribuição (global) e em distribuições interpretadas em modas de alta e baixa velocidade (pessimista e otimista, respectivamente).

A quantificação da incerteza foi baseada na diferença entre cada um dos modelos de Vp criados (MVpMG, MVpMO e MVpMP), em relação ao modelo original recebido do processamento sísmico. Foi estimada a média da espessura, (horizonte da base do sal convertido com cada cenário - horizonte de referência) e, calculada a variação percentual em relação a espessura no modelo do processamento. A variação percentual das diferenças entre o modelo de processamento e os cenários alternativos foi associada ao *Gross Rock Volume* (GRV 3D) de um reservatório do Pré-sal. A faixa de variação percentual entre o modelo do processamento sísmico e os cenários modelados (analisando conjuntamente todas as 10 linhas modeladas), fica entre -7,6% (perda de espessura) e +10,7% (ganho de espessura), condizente com valores estimados nos trabalhos apresentados na sequência.

[Pontes \(2019\)](#) e [Pontes et al. \(2019\)](#) compararam três modelos variando as velocidades das camadas evaporíticas em dados 3D. As diferenças de GRV, calculada entre a superfície da base do sal e um horizonte hipotético, estimou reduções da ordem de 8% (modelo de velocidade constante para o modelo de Ciclos), 6% (modelo de tomografia padrão da indústria para o

modelo de ciclos) e 5% (modelo de inversão para o modelo de ciclos).

Em [Camargo \(2022\)](#), [Camargo et al. \(2022\)](#), [Camargo et al. \(2023\)](#), foram criados oito cenários de velocidades, modelando *rafts* carbonáticos e, as variações de GRV no topo dos reservatórios do Pré-sal foram estimadas em +/-6%. Entretanto, estas variações de GRV podem atingir até +/-40%, em regiões distantes dos poços (classificados pelos autores como cenários extremos, de utilização muito restrita).

[Meneguim et al. \(2015\)](#) estudaram perfis sônicos filtrados e, derivou 4 modas principais que representariam as velocidades das rochas do sal, através de seções construídas pela metodologia de *Probability Density Function* (PDF). Utilizando estas PDF's, os autores criaram três modelos de sal estratificado: P50 (média das modas), P10 (valor mínimo das modas). Embora e P90 (valor máximo das modas). Quando comparados com o modelo tomográfico, estes modelos se constituem em cenários mais realistas, além de apresentarem uma taxa de 3% variação do GRV, em comparação com o caso base.

A partir do modelo de atualização tomográfica, considerado o modelo de referência, [Maul \(2020\)](#), [Maul et al. \(2021b\)](#) criaram quatro cenários distintos, aumentando a complexidade geológica em termos de modelos de sal (do menos para o mais complexo): velocidade constante, atualização de velocidades com atributo de amplitude, atualização de velocidades utilizando inversão do sal e atualização de velocidades utilizando inversão do sal e superfícies internas. Foi estimada uma diferença de 14% no GRV entre o modelo de referência e o modelo de inversão sísmica considerando as superfícies internas do sal.

[Yamamoto et al. \(2023\)](#) propõem uma metodologia de construção de cenários de velocidade distintos com base em informações de poços, modelos de velocidade e dados sísmicos contemplando ambas as seções de análise, pós-sal e sal. Os autores acreditam que a metodologia capturou as incertezas em relação à estrutura do reservatório, fornecendo os cenários otimistas e pessimistas mais adequados, estimando em +11% e -13%, respectivamente, as variações de GRV.

A possibilidade de utilização dos mapas de litofácies das zonas estratigráficas K60-20 (Figura 61), K60-50 (Figura 62), K60-80 (Figura 63), e AlbSup-Ceno (Figura 64), em conjunto com o modelo proposto de relação entre as litofácies e as velocidades compressoriais (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), para fins de modelagem geológica de velocidades em áreas sem informações de poços é um trabalho a ser desenvolvido no futuro.

Os grandes reservatórios de hidrocarbonetos do Pré-sal, como Tupi, Búzios, Lapa, Mero, Sapinhoá, Sépia, Sururu, Atapu, Berbigão, dentre outros, estão localizados na região centro-norte distal da Bacia de Santos, na chamada “província do Pré-sal” (Figura 14). Ao

comparar a posição relativa das linhas sísmicas 2D e dos poços utilizados nesta pesquisa com a região destes campos, verifica-se que, a análise de algumas seções (ou parte delas), como as porções distais das seções *dip* centro e *dip* norte, toda a seção *strike* distal norte e a porção SW da seção *strike* intermediária norte se faz importante pois, correspondem aos dados mais representativos da região da bacia onde se localizam estes importantes reservatórios.

Qualitativamente, ao analisar as conversões da base do sal (correlata ao topo dos reservatórios) nas partes mencionadas das seções *dip* centro (Figura 107), *dip* norte (Figura 110), *strike* distal norte (Figura 98) e *strike* intermediária norte (Figura 92), atestamos que a variação entre o cenário original, do processamento, e os três cenários modelados é pequena, se comparada a outras regiões das mesmas seções ou de outras seções. Embora não quantificada, existe uma relação direta entre a espessura das camadas modeladas e o afastamento das superfícies convertidas com o cenário original e com os três cenários propostos. Nesta região dos campos do Pré-sal, as camadas albianas-cenomanianas, normalmente, estão dispostas em minibacias, de pequena espessura, entre os grandes diápiros de sal ou, se configuram em camadas mais contínuas de espessura pequena, sobre as muralhas de sal ou ainda inexitem, no topo de algumas destas estruturas evaporíticas. O fato de os poços estarem localizados na porção mais distal da bacia, faz com que os litotipos que compõem estas camadas normalmente sejam carbonáticos na zona K60-20 e, siliciclásticos ou siliciclásticos/carbonáticos nas demais zonas. Este fato, associado a pequena espessura das camadas faz com que o modelo tomográfico do processamento sísmico tenha qualidade e, que as diferenças entre ele e os cenários criados utilizando a análise estatística dos poços seja minimizada.

Quantitativamente, observa-se que as diferenças percentuais, entre o cenário do processamento e os três cenários modelados, nestas mesmas seções *dip* centro (Figura 108), *dip* norte (Figura 111), *strike* distal norte (Figura 99) e *strike* intermediária norte (Figura 93), são pequenas, de -7,6% até 3,2%. Algumas destas linhas “representativas” são contaminadas por partes que não correspondem ao Pré-sal, como por exemplo, as partes proximais das linhas *dip* ou a parte NE da seção *strike* intermediária norte. Apenas a linha *strike* distal norte está em sua totalidade sobre estes campos, cuja variação percentual observada é mínima de, de -3,9% a 1,2%.

Outra constatação desta pesquisa, é a frequente observação de rochas vulcânicas, nas seções Pré-sal, intra-sal e pós-sal nos poços, na porção norte e extremo norte da bacia, nas proximidades do Alto de Cabo Frio. [Mohriak \(1991\) in Mohriak et al. \(1995\)](#) postulam que após a quebra do Gondwana dois episódios vulcânicos, resultados da reativação transcorrente

cenozoica, associada à suavização termal pelo *hotspot* de Trindade afetaram essa área e estariam relacionados a duas zonas de transferência na área do Alto de Cabo Frio. O primeiro pulso, no Cretáceo Médio (80-90 Ma), caracterizado por basaltos extrusivos e *sills* e o segundo, no Paleógeno (50 Ma), responsável pela formação de cones vulcânicos. De acordo com [Waisman et al. \(2019\)](#), o Alto de Cabo Frio corresponde a um alto do embasamento, que se estende por toda a plataforma continental e limita as bacias de Campos e Santos. [Melgaço, 2010, in Waisman et al. \(2019\)](#) pontua que esta estrutura teve atuação mais importante como barreira topográfica à deposição durante a Fase Rife e SAG, enquanto a partir da deposição da Fase Marinha aberta atuou apenas nas áreas afetadas por um vulcanismo mais intenso. Embora não quantificada, a estimativa oriunda de observação em poços, da relação rochas carbonáticas x rochas ígneas, nos leva a reflexão de que a importância das rochas ígneas nesta região, pode ser maior que a das rochas carbonáticas, em termos de velocidades sísmicas.

Isto nos leva a seguinte discussão: qual a relevância das rochas albianas-cenomanianas, em termos de modelagem de velocidades, na região distal e, economicamente, mais importante, da bacia? A resposta parece ser: em relação à camada evaporítica, sua relevância é quase que nula, nesta região, pois, além de serem muito mais descontínuas e/ou possuírem pequenas espessuras, tem pouca contribuição francamente carbonática em sua composição, sendo suas velocidades capazes de serem resolvidas por modelagens convencionais de velocidade, tipo tomografia ou FWI.

Na Bacia de Santos, este contexto é bem diferente da Bacia de Campos, onde as camadas albianas-cenomanianas exercem grande influência na modelagem de velocidades na região distal, sobre reservatórios do Pré-sal ([Camargo, 2022](#), [Camargo et al. \(2022\)](#), [Camargo et al. \(2023\)](#)). Na região distal da Bacia de Campos, as camadas carbonáticas albianas aparecem na forma de espessos *rafts*, que correspondem a blocos de tamanhos variados (com algumas dezenas de km<sup>2</sup> de área), contendo toda a seção sedimentar do Grupo Macaé, remanescentes de uma antiga plataforma carbonática que se fragmentou e migrou bacia adentro ([Machado Jr et al., 2005](#)). Estas espessas sequências, francamente carbonáticas, aliadas a relativa pouca espessura de sal se constituem em um verdadeiro desafio para as modelagens de velocidade na Bacia de Campos, principalmente durante as etapas de processamento sísmico.

## 9 CONCLUSÕES

Os resultados confirmam que o intervalo Albiano-Cenomaniano da Bacia de Santos não é uma seção homogênea, apresentando heterogeneidades provenientes das oscilações do nível relativo do mar, durante sua deposição. Comprovadas em dados sísmicos, estas heterogeneidades constituem domínios de velocidades distintos, que dificilmente são incorporadas nos modelos de velocidade, devido a seu método de construção. A incorporação de feições geológicas, como camadas interpretadas, no processo de construção de modelos de velocidade, propicia maior confiabilidade durante as etapas de exploração e desenvolvimento de reservatórios de hidrocarbonetos.

Os grupos de litofácies identificados nos poços, no intervalo Albiano-Cenomaniano, ratificam os modelos conceituais descritos na literatura, de uma plataforma em rampa com barreiras, onde são observados cinco ambientes deposicionais coexistindo lateralmente.

Devido ao grande influxo de siliciclásticos provenientes da área fonte, próximo à linha de charneira cretácica, na região proximal da bacia, predominam litofácies costeiras, deltaicas e estuarinas. Já nas regiões intermediária e distal da bacia, observam-se litofácies plataformais, com ambientes bem desenvolvidos, desde a plataforma interna, banco carbonático, plataforma externa e bacia. Analisando as zonas estratigráficas estudadas e, suas relações espaciais e temporais, é constatada a evolução do sistema marinho transgressivo iniciado no final do Aptiano, com a instalação de uma extensa plataforma carbonática (K60-20), a qual foi sendo gradativamente afogada (k60-50, K60-80 e AlbSup-Ceno), até o Turoniano.

A análise das litofácies nos poços e seu posicionamento em relação ao topo do embasamento da bacia, sugere uma correlação entre o desenvolvimento de determinadas litofácies carbonáticas e os altos estruturais, favorecendo a inferência destas litofácies em regiões sem poços perfurados. Litofácies carbonáticas associadas à alta energia tendem a se depositar em regiões mais elevadas estruturalmente, enquanto litofácies de baixa energia se depositam em regiões adjacentes a estes altos e, em baixos estruturais, onde as condições sejam propícias. As litofácies carbonáticas de alta energia, como *grainstones e packstones*, inferidas nos mapas de litofácies, sobre altos estruturais em regiões distais, tem caráter especulativo, porém, podem se constituir em possíveis reservatórios de hidrocarbonetos.

A variação lateral de litofácies na bacia exerce grande influência na modelagem de velocidade. Em teoria, a velocidade compressional das camadas aumenta à medida que aumenta seu conteúdo carbonático. Assim, litofácies predominantemente siliciclásticas apresentarão velocidade menor que litofácies com conteúdo misto e litofácies com conteúdo francamente

carbonático. Dessa forma, a distribuição das velocidades está intimamente relacionada com a distribuição das litofácies na bacia, sendo os mapas de litofácies propostos para cada uma das zonas estudadas, possíveis mapas de tendência para a distribuição da velocidade, em modelagens geológicas de velocidade, qualquer que seja a região da bacia.

A análise estatística, realizada nos perfis litológico e de  $V_p$ , propiciou a caracterização das velocidades, em termos de quantificação, sua relação com as litofácies (foi comprovado que a propriedade física  $V_p$  depende, não só, mas principalmente, dos litotipos que compõem cada zona estratigráfica) e, sua distribuição areal na bacia em cada zona estratigráfica, do intervalo Albiano-Cenomaniano. As formas e valores apreciados nas distribuições foram de suma importância para a etapa de modelagem geológica de velocidades, servindo como *input* direto de dados.

Os três cenários de velocidade criados incorporaram as variações de velocidade, obtidas a partir das análises estatísticas dos perfis de litologia e velocidade dos poços, nas regiões proximal, intermediária e distal. Embora o modelo de velocidades original, do processamento, não se configure em um cenário ideal, para estudos de reservatório, devido a seu método de concepção ter levado a uma relativa imprecisão geológica, juntamente com os cenários modelados, consistem em quatro cenários plausíveis a serem usados em análises de incertezas, principalmente em regiões sem poços.

Foram constatadas duas hipóteses, em se tratando de modelagem de velocidades das camadas albianas-cenomanianas, com influência em reservatórios do Pré-sal: a relação direta entre a espessura das camadas modeladas e a diferença entre as superfícies convertidas com o cenário original e com os três cenários alternativos e, a correlação entre os litotipos predominantes nas camadas, em cada região da bacia e a velocidade intervalar modelada. A interpretação sísmica em conjunto com análises de poços atestou que, as camadas Albianas-Cenomanianas, sobrejacentes à região dos importantes campos do Pré-sal, ocorrem como minibacias, de pequena espessura, entre os grandes diápiros de evaporitos, como delgadas camadas contínuas, sobre as muralhas evaporíticas ou simplesmente não existem, no ápice de algumas destas grandes estruturas evaporíticas. Assim, onde as camadas são finas, as diferenças entre as conversões são minimizadas, chegando a zero onde as camadas não existem. Também foi comprovado que, no setor distal da bacia, onde estão localizados os campos do Pré-sal, os litotipos que compõem estas camadas, são predominantemente carbonáticos (normalmente de baixa energia, mas, com ocorrências de alta energia nos altos) na zona K60-20 e, siliciclásticos ou siliciclásticos/carbonáticos nas demais zonas. Este fato, associado a pequena espessura das camadas faz com que o modelo tomográfico do processamento tenha certa qualidade e contribui

para minimizar as diferenças entre ele e os cenários modelados.

Ao associarmos a faixa de variação percentual das diferenças entre o modelo do processamento e os modelos alternativos, de média de espessura na camada Pré-sal (2D), para GRV de um reservatório do Pré-sal (3D), pode-se afirmar que a incerteza da modelagem de velocidades do intervalo Albiano-Cenomaniano oscila, entre -7,6% e +10,7%, condizente com valores observados em diversos trabalhos. Entretanto, ao analisarmos as diferenças apenas na região dos campos do Pré-sal, atesta-se que a variação percentual é mínima de, de -3,9% a 1,2%. Ressalta-se assim, que, se a área de interesse de algum projeto estiver na região distal da bacia, no domínio dos diápiros e muralhas de sal, é provável que a incerteza associada à velocidade das camadas albianas-cenomanianas seja minimizada no modelo geológico de velocidades.

Para reservatórios do Pré-sal, na região distal e, economicamente, mais significativa, a importância da modelagem de velocidades das camadas albianas-cenomanianas em relação à camada evaporítica, já comprovada por diversos autores, é pequena. Além de serem muito mais descontínuas e/ou possuírem pequenas espessuras, existe pouca contribuição francamente carbonática em sua composição, sendo suas velocidades capazes de serem resolvidas por modelagens convencionais de velocidade, tipo tomografia ou FWI. Entretanto, a modelagem de velocidade das camadas albianas-cenomanianas não deve ser desprezada uma vez que seu entendimento das características geológicas/geofísicas seja relevante.

Os reservatórios do Pré-sal da Bacia de Campos estão situados em domínio tectônico extensional de sal, no qual estão presentes pequenos domos de sal e espessos *rafts* carbonáticos. Esta relação de espessura entre estes importantes domínios demonstra que, não só a modelagem do sal é importante, mas, que a modelagem dos *rafts* é crucial na construção de modelos de velocidades na Bacia de Campos. Apesar do contexto genético das bacias de Campos e de Santos ser similar, os reservatórios do Pré-sal estão situados em domínio tectônico compressional, sob grandes diápiros e espessas muralhas de sal. Conforme mencionado anteriormente, a descontinuidade das camadas albianas-cenomanianas, aliada à sua pouca espessura ou a sua inexistência demonstrou que, sua relevância em relação aos evaporitos salinos é minimizada, em se tratando de modelagem de velocidades.

Uma consideração importante está relacionada à descoberta de novos reservatórios do Pré-sal. Se estes reservatórios forem comprovados nos setores intermediário ou mesmo proximal da bacia, uma modelagem cuidadosa das zonas Albiano-Cenomanianas deve ser considerada, pois está claro que as incertezas associadas ao Pré-sal aumentam.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASIL – EBC. 2022. *Internet Website*.

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2022-10/producao-de-petroleo-ultrapassa-4-milhoes-de-barris-por-dia-diz-anp>

AGÊNCIA BRASIL – EBC. 2022. *Internet Website*.

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-03/petroleo-reservas-provadas-crescem-11-em-2021-no-brasil>.

AGÊNCIA BRASIL – EBC. 2022. *Internet Website*.

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-10/producao-de-petroleo-e-gas-e-de-3967-milhoes-de-barris-por-dia>.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2022. Painéis Dinâmicos de Produção de Petróleo e Gás Natural. *Internet Website*. <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-sobre-exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/paineis-dinamicos-de-producao-de-petroleo-e-gas-natural>.

AMORIN, K.B. 2016. Paleoambiente, paleogeografia e isótopos de carbono e oxigênio de depósitos carbonáticos miocenos da Plataforma Bragantina, NE do estado do Pará, Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, UFPA.

AMARAL, P.J., MAUL, A., FALCÃO, L., CRUZ, N.M., GONZÁLEZ, M. & GONZÁLEZ, G. 2015. Estudo Estatístico da Velocidade dos Sais na Camada Evaporítica na Bacia de Santos. In: 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

ARAI, M. 2014. Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective. *Brazilian Journal of Geology*, 44(2), 339-350. doi: 10.5327/Z2317-4889201400020012.

ARAUJO, M.N., GUSSINYÉ, M.P. & MULDASHEV, I. (2022) Oceanward rift migration during formation of Santos–Benguela ultra-wide rifted margins. In NEMČOK, M., DORAN, H., DORÉ, A. G., LEDVÉNYIOVÁ, L. and RYBÁR, S. (eds) *Tectonic Development, Thermal History and Hydrocarbon Habitat Models of Transform Margins: their Differences from Rifted Margins*. Geological Society, London, Special Publications, 524. <https://doi.org/10.1144/SP524-2021-123>.

- AVSETH, P., MUKERJI, T. & MAVKO, G. 2013. Quantitative Seismic Interpretation – Applying Rock Physics Tools to Reduce Interpretation Risk. Cambridge University Press, UK. 359P.
- ALVARENGA, R.S.; IACOPINI, D.; KUCHLE, J.; GOLDBERG, K. & KNELLER, B. 2022. Seismic facies and geobody characterization in the pre-salt rift section: the Lagoa Feia Group, Campos Basin, offshore Brazil. Interpreting Subsurface Seismic Data – Chapter 4. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818562-9.00008-X>.
- AZEVEDO, R.L.M. 2004. Paleoceanografia e a evolução do Atlântico Sul no Albiano. Boletim de Geociências, Petrobras, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2.
- BENAC, P.; FALCÃO, L.; GONZÁLEZ, M.; NOVELLINO, V.; MAUL, A.; PEREIRA, C.E. & CUNHA, R. 2021. Velocity well logs statistical analysis of the Itanhaém and Guarujá Formations, Santos Basin, Brazilian offshore. Seventeenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society. SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.
- BASTOS, G.; BASTOS, I.P., 2017. Bacia de Campos. Sumário Geológico e Setores em Oferta. Relatório da Superintendência de Definição de Blocos (SDB). 14ª Rodada-Licitações de Petróleo e Gás (ANP).
- BORGES, F.; APOLUCENO, D.; SELBACH, H.; MAUL, A.; LIMA, G. 2015. Thickness-based Approach for Evaporites Seismic Velocities in Campos Basin. 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil.
- CAINELLI, C.; MOHRIAK, W.U., 1999. Some remarks on the evolution of sedimentary basins along the Eastern Brazilian continental margin: Episodes, v. 22, p. 206-216.
- CAMARGO, G.N.; GONZÁLEZ, M.; BORGES, F.; MOHRIAK, W. & MAUL, A.R. 2022. Challenges for seismic velocity modelling of rafts and impacts for pre-salt depth estimations. *Petroleum Geoscience* 29(1).
- CAMARGO, G.N.; GONZÁLEZ, M.; BORGES, F.; MOHRIAK, W. & MAUL, A.R. 2023. Challenges in velocity model building in areas with carbonate rafts: a case study in the Campos Basin. Eighteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society. SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.
- CAMARGO, G.N.; MOHRIAK, W. & MAUL, A.R. 2021. Geophysical integrated analysis of carbonate rafts, post-salt siliciclastic sediments and salt section supporting 3D seismic velocity models for pre-salt reservoir opportunities: the example of the Jabuti Field in the Marlim Complex of the Campos Basin. Seventeenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society. SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

- CAMARGO, G.N. 2022. Alternativas para modelos de velocidade sísmicas dos *rafts* no complexo Marlim, na Bacia de Campos, e os impactos na volumetria dos reservatórios do Pré-sal. Tese de Mestrado, PPGG-UERJ, Rio de Janeiro, RJ, p.98.
- CARMINATTI, M., WOLFF, B., GAMBOA, L.A.P., 2008. New exploratory frontiers in Brazil. 19<sup>th</sup> World Petroleum Congress, Madrid, Spain, 29 June–3 July 2008.
- CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO, A.M.F.; 1988. New Concepts of the Development of East Brazilian Marginal Basins, EPISODES, Vol. 11, No. 3, September 1988, P. 194-202.
- CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO, A.M.F.; BENDER, A.A., 1992. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. In: P.A. Ziegler (Editor), Geodynamics of Rifting, Volume II. Case History Studies on Rifts: North and South America and Africa. Tectonophysics, 213: 97-138.
- CHANG, H.K.; ASSINE, M.L.; CORRÊA, F.S.; TINEN, J.S.; VIDAL, A.C.; Koike, L. (2008). Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2 - suplemento), 29-46. doi: 10.25249/0375-7536.2008382S2946.
- CORNELIUS, S. & CASTAGNA, J.P. 2018. Variation in Salt-Body Interval Velocities in the Deepwater Gulf of Mexico: Keathley Canyon and Walker Ridge Areas. *Interpretation*, 6(1): T15-T27.
- FALCÃO, L. 2017. O sal Estratificado e sua Importância na Modelagem de Velocidades Para Fins de Migração Sísmica. Tese de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.
- FERNANDEZ, R.O., 2017. Bacia de Santos. Sumário Geológico e Setores em Oferta. Relatório da Superintendência de Definição de Blocos (SDB). 15<sup>a</sup> Rodada-Licitações de Petróleo e Gás. ANP.
- FONSECA, J.; TEIXEIRA, L.; MAUL A.; BARROS, P.; BORGES, F.; BOECHAT, J.B. & GONZÁLEZ, M. 2018. Modelling Geological Layers into New Velocity Models for Seismic Migration Process - a Brazilian Pre-Salt Case. In: First EAGE/PESGB Workshop on Velocities, Expanded Abstracts, EAGE/PESGB. London, UK.
- FREITAS, V.A., VITAL, J.C.S., RODRIGUES, B.R. & RODRIGUES, R. 2022. Source rock potential, main depocenters, and CO<sub>2</sub> occurrence in the pre-salt section of Santos Basin, southeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 115 (2022) 103760. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103760>.

- GALLOWAY, W.E. 1989. Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis I: Architecture and Genesis of Flooding-Surface Bounded Depositional Units. *AAPG Bulletin* 73(2). DOI: [10.1306/703C9AF5-1707-11D7-8645000102C1865D](https://doi.org/10.1306/703C9AF5-1707-11D7-8645000102C1865D).
- GAMBOA, L.A.P., MACHADO, M.A.P., SILVEIRA, D.P., FREITAS, J.T.R., SILVA, S.R.P., MOHRIAK, W., SZATMARI, P. & ANJOS, S. 2009. Evaporitos estratificados no atlântico sul: interpretação sísmica e controle tectono-estratigráfico na bacia de santos. *In: MOHRIAK, W., SZATMARI, P. & ANJOS, S.M.C. (EDS.). Sal: geologia e tectônica. São Paulo, p. 340–359. Beca Edições.*
- GARCIA, S. F. M.; DANDERFER FILHO, A.; LAMOTTE, D. F.; RUDKIEWICZ, J. L. 2012. Análise de volumes de sal em restauração estrutural: um exemplo na Bacia de Santos. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 42, n.2, p. 433-450.*
- GOBATTO, F.; MAUL, A.; FALCÃO, L.; TEIXEIRA, L.; BOECHAT, J.B.; GONZÁLEZ, M.; GONZÁLEZ, G. 2016. Refining velocity model within the salt section in Santos Basin: An innovative workflow to include the existing stratification and its considerations. In SEG International Exposition and 87<sup>th</sup> Annual Meeting Dallas, TX, USA.
- GORDON, A.C.; MOHRIAK, W.U.; STANTON, N. & SANTOS, A.C. 2022. Magmatic cycles in Santos Basin (S.E. Brazil): Tectonic control in the temporal-spatial distribution and geophysical signature. *Journal of South American Earth Sciences.*
- GUARDADO, L.R.; GAMBOA, L.A.P & LUCHESI, C.F. 1989. Petroleum Geology of the Campos Basin, a Model for a Producing Atlantic Type Basin. *In: EDWARDS, J.D.; SANTOGROSSI, P.A. (Eds.). Divergent/Passive Margin Basins. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 3-79. (AAPG MEMOIR 48).*
- GUERRA, M.C.M. & UNDERHILL, J.R. 2012. Role of Halokinesis in Controlling Structural Styles and Sediment Dispersal in the Santos Basin, Offshore Brazil. *In: Alsop, G.I., Archer, S.G., Hartley, A.J., Grant, N.T. & Hodgkinson, R. (Eds.). Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity, 175-206. Geological Society of London, UK.*
- GUO, N. & FAGIN, S. 2002. Becoming Effective Velocity Model Builders and Depth Imagers, Part 2 - The Basics of Velocity-Model Building, Examples and Discussions. *The Leading Edge, 1210-1216. 62*
- HUANG, Y.; LIN, D.; BAI, B., ROBY, S. & RICARDEZ, C. 2010. Challenges in Pre-Salt Depth Imaging of the Deepwater Santos Basin, Brazil: *The Leading Edge, 29(7): 820-825.*

- JI, S., HUANG, T.; FU, K. & LI, Z. 2011. Dirty Salt Velocity Inversion: The Road to a Clearer Sub Salt Image. *Geophysics*, 76(5) (September-October 2011):169-174.
- KANG, W., M. ORTIN, J. MONTEIRO, M. FAGUNDES, O. ZDRAVEVA, D. VIGH, M. SHADRINA. 2019. Improving Pre-Salt Image with Reflection Full-Waveform Inversion in Santos Basin. In: *First EAGE Workshop on Pre-Salt Reservoir: From Exploration to Production*.
- KUKLA, P.A.; STROZYK, F.; MOHRIAK, W.U. 2018. South Atlantic Salt Basins – Witnesses of Complex Passive Margin Evolution. *Gondwana Research*, 41-57.
- JONES, I.F. & DAVISON, I. 2014. Seismic Imaging in and Around Salt Bodies: Problems and Pitfalls. In: *75th EAGE Conference & Exhibition - Expanded Abstracts*, European Association of Geoscientists & Engineers. London, UK.
- LEAL, A.B. & MOURA, T.R.S. 2021. Data analytics applied to the analysis of petroleum production in Brazil. *Brazilian Applied Science Review*, Brazilian Applied Science Review, Curitiba, v.5, n.2, p. 818-835 mar. / abr. 2021.
- MACHADO JR, D. L.; VIVIANI, V. H.; SANT'ANNA, M. V.; METELO, C. M. S. 2005. Restauração Estrutural de Sequências Albianas da Bacia de Campos. V Simpósio de Interpretação Exploratória. SINTEX. Rio de Janeiro. PETROBRAS.
- MCKENZIE, D., 1978. Some remarks on the development of sedimentary basins, *Earth and Planetary Science Letters*, 40, 25-32.
- MAUL, A.R. 2005. Delimitação de Reservatórios Delgados Utilizando Atributos Sísmicos Tese de Mestrado, UFF, PPGDOT, Niterói, RJ. P.73.
- MAUL, A. & FALCÃO, L. 2014a. Velocity Analysis from Sonic Logs, Cutting Samples and Seismic (Relatório Interno Petrobras).
- MAUL, A. & FALCÃO, L. 2014b. Uma Metodologia para Incorporação de Estratificações na Seção Evaporítica. (Relatório Interno Petrobras).
- MAUL, A.; FALCÃO, L.; GOBATTO, F.; & GONZÁLEZ, M. 2014c. Modelagem Geológica de Velocidades Sísmicas Utilizando o GoCad/Skua. (Petrobras – Apostila Interna).
- MAUL, A., JARDIM, F., FALCÃO, L. & GONZÁLEZ, G. 2015. Observing Amplitude Uncertainties for a Pre-Salt Reservoir Using Illumination Study (Hit-maps). In: *77th EAGE Conference and Exhibition*.
- MAUL, A., FALCÃO, L., GOBATTO, F., NOVELLINO, V., JARDIM, F., OLIVEIRA, L., MENEGUIM, T., AMARAL, P.J., BORGES, F., TEIXEIRA, L. GONZÁLEZ, G. & GONZÁLEZ, M. 2016. Incorporação de Estratificações dentro da Seção Evaporítica

Utilizando Velocidades e Atributos Sísmicos. Informe Geofísico Petrobras, 152. (Informe Interno Petrobras).

- MAUL, A.; CETALE, M. & GUIZAN, C. 2018a. Few Considerations, Warnings and Benefits for the E&P Industry when Incorporating Stratifications inside Salt Sections. *Brazilian Journal of Geophysics*, 36(4): 461-477. Doi: 10.22564/Revista Brasileira de Geofísica.v36i4.1981.
- MAUL, A., SANTOS, M.A.C.; & SILVA, C.G. 2018b. Evaporitic section characterization and its impact over the pre-salt reservoirs, example in the Santos Basin. Presented at the 19<sup>th</sup> Rio Oil & Gas Expo and Conference, 24–27 September 2018, Rio de Janeiro, Brazil.
- MAUL, A., FONSECA, J., TEIXEIRA, L., BARROS, P., BOECHAT, J.B., NUNES, J.P., YAMAMOTO, T., GONZÁLEZ M. & GONZÁLEZ, G. 2018c. Modelling Intra-Salt Layers when Building Velocity Models for Depth Migration. Examples of the Santos Basins, Brazilian Offshore. In: SEG Technical Program Expanded Abstracts, 3764-3767. Society of Exploration Geophysicists. Anaheim, CA, USA.
- MAUL, A.; CETALE, M.; GUIZAN, C.; GONZÁLEZ, M.; FONSECA, J.S.; BORGES, F.A.S.; ABREU C.E.B.S. 2019. Evaporitic Velocity Modeling Uncertainties and Variabilities: Implications for pre-salt projects in the Santos Basin, Brazil. *Brazilian Journal of Geophysics* (2019) 37(2): 175-186 © 2019 Sociedade Brasileira de Geofísica.
- MAUL, A.R. 2020. Caracterização Sísmica das Estratificações da Seção Evaporítica Salina e suas Aplicações nos Projetos de Exploração, Desenvolvimento e Produção de Hidrocarbonetos. Tese de Doutorado, UFF, PPGDOT, Niterói, RJ. P.263.
- MAUL, A.; BULCÃO, A.; DIAS, R.M.; , J.S.; PEREIRA-DIAS, B.; TEIXEIRA, L.; BORGES, F.; GONZÁLEZ, M.; GUIZAN, C.; & CETALE, M. 2021a. Benefits of Inserting Salt Stratification to Detail Velocity Model Prior to Least Squares Reverse Time Migration. *Journal of Applied Geophysics*, 195.
- MAUL, A.; CETALE, M.; GUIZAN, C., CORBETT, P.; UNDERHILL, J.; TEIXEIRA, L.; PONTES, R.; & GONZÁLEZ, M. 2021b. The Impact of Heterogeneous Salt Velocity Models on the Gross Rock Volume Estimation: an example from the Santos Basin Pre-Salt, Brazil. *Petroleum Geosciences*, petgeo 2020-105. <https://doi.org/10.1144/petgeo2020-105>
- MAUL, A.; CETALE, M.; GUIZAN, C., CORBETT, P.; UNDERHILL, J.; TEIXEIRA, L.; PONTES, R.; FALCÃO, L.; YAMAMOTO, T.; & GONZÁLEZ, M. 2021c. Insertion of Salt Stratification when Building Detailed Velocity Models and its Impacts Regarding Uncertainties Analysis for Gross-Rock Volumes Estimation. 17th

- International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 August 2021.
- MENDONCA, P.M.M.; SPADINI, A.R.; MILANI, E.J. 2003. Exploração na Petrobras: 50 anos de Sucesso. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 12 (1): 9-58.
- MENEGUIM TB, MENDES SC, MAUL AR, FALCÃO LF, GONZÁLEZ MLAF & GONZÁLEZ G. 2015. Combining seismic facies analysis and well Information to guide new interval velocity models for a Pre-Salt study, Santos Basin, Brazil. In: 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. p. 1365–1368. Brazilian Geophysical Society. doi: 10.1190/sbgf2015-271.
- MILANI, E.J.; RANGEL, H.D.; BUENO, G.V.; STICA, J.M.; WINTER, W.R.; CAIXETA J.M.; NETO O.C.P. 2007. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(1), 1-572.
- MIO E.; CHANG, H.K.; CORRÊA, F.S.; 2005. Integração de Métodos Geofísicos na Modelagem Crustal da Bacia de Santos. *Revista Brasileira de Geofísica* (2005) 23(3): 275-284.
- MOHRIAK, W. U.; MACEDO, J.M.; CASTELLANI, R.T.; RANGEL, H.D.; BARROS, A.Z.N.; LATGÉ, M.A.L.; RICCI, J.A.; MIZUSAKI, A.M.P.; SZATMARI, P.; DEMERCIAN, L.S.; RIZZO, J.G.; AIRES, J.R. (1995) Salt tectonics and structural styles in the deep water province of the Cabo Frio region, Rio de Janeiro, Brazil.
- MOHRIAK, W.U. 2003. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira (Sedimentary Basins of the Brazilian Continental Margin). Em: *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil 87, Capítulo 3 - BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M. & GONÇALVES, J. H. 2003. CPRM, Brasília.*
- MOHRIAK, W.U.; NEMCOK, M.; ENCISO, G. 2008. South Atlantic divergent margin evolution: Rift-border uplift and salt tectonics in the basins of SE Brazil. *Geological Society London Special Publications*, janeiro 2008.
- MOREIRA, J. L. P.; MADEIRA, C. V.; GIL, J. A.; MACHADO, M. A. P. 2007. *Bacia de Santos*. *Boletim de Geociências da Petrobras*. Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 531-549, maio/novembro 2007.
- MUNIZ, M.C. (2013). Tectono-Stratigraphic evolution of the Barremian-Aptian Continental Rift Carbonates in Southern Campos Basin, Brazil. PhD Thesis – Earth Sciences Department – Royal Holloway University of London.
- NOVELLINO, V.; FALCÃO, L.; MAUL, A.; BENAC, P.; CAMARGO, G.; CANDIDO, A.; & GONZÁLEZ, M. 2021. Pre-Salt seismic imaging and depth positioning uncertainties

- in the Campos and Santos Basins: challenges and warnings related to the structured overburden composed by carbonatic rafts and salt. Seventeenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society. SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.
- NOVELLINO, V.; MAUL, A.; GONZÁLEZ, M.; & FREIRE, A.F.M. 2023. Dealing with the Albian-Cenomanian of the Santos Basin, and possible implications in terms of compressional velocity model and the related applications. Eighteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society. SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.
- OLIVEIRA, L.C.; FALCÃO, L.; MAUL, A.; ROSSETO, J.A.; GONZÁLEZ, M. & GONZÁLEZ, G. 2015. Geological Velocity Approach in Order to Obtain a Detailed Velocity Model for the Evaporitic Section, Santos Basin. In: 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.
- PASCHOA, C. 2019. Petrobras: 'A new era begins'. Article, Offshore Engineer. Website: [Petrobras: 'A New Era Begins' \(oedigital.com\)](https://www.oedigital.com).
- PEREIRA, M.J.; BARBOSA, C.M.; AGRE, J.; GOMES, J.B.; ARANHA, L.G.F.; SAITO, M.; RAMOS, M.A.; CARVALHO, M.D.; STAMATO, M.; e BAGNI, O. (1986). Estratigrafia da Bacia de Santos: análise das seqüências, sistemas deposicionais e revisão litoestratigráfica. XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia. Goiânia, Brasil.
- PICHEL, L. M.; JACKSON, C. A. L., 2020. The enigma of the Albian Gap: spatial variability and the competition between salt expulsion and extension. JGS - Journal of the Geological Society. Vol. 177 – 2020 - pp. 1129–1148.
- PONTES, R.L.B. 2019. Seismic Characterization of Internal Salt Cycles: A Case Study in Santos Basin, Brazil. Tese de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.
- PONTES, R.L.B.; MAUL, A.; GUIZAN, C. 2019. Interpretation, Characterization, and Importance of the Internal Salt Cycles for Seismic Processes: a Santos Basin Example. 16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019.
- POSAMENTIER, H.W.; PAUMARD, V.; LANG, S.C. (2022) Principles of seismic stratigraphy and seismic geomorphology I: Extracting geologic insights from seismic data. Earth-Science Reviews 228 (2022) 103963. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103963>.
- PRESAL PETRÓLEO (PPSA). 2020. Internet Website. <https://www.presalpetroleo.gov.br/caracteristicas/>

- QUIRK, D. G.; NIELSEN, M.; RAVEN, M.; MENEZES, P. 2008. Salt Tectonics in Santos Basin, Brazil. Conference Paper-IPB1632-08. September 2008.
- QUIRK, D. G.; SCHØDT, N.; LASSEN, B.; INGS, S. J. HSU, D.; HIRSCH, K. K. & NICOLAI, C. V. 2012. Salt tectonics on passive margins: examples from Santos, Campos, and Kwanza basins. Geological Society, London, Special Publications 2012, v.363; p207-244. doi: 10.1144/SP363.10
- RICCOMINI, C., SANT'ANNA, L. G., & TASSINARI, C. C. G. 2012. Pré-sal: geologia e exploração. Revista USP, (95), 33-42. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i95p33-42>
- SHADRINA, M.; CAVALCA, M.; ORTIN, M.; PANTOJA, M.; MEDINA, E.; LEONE, C. & FLETCHER, R. 2020. Prestack Least-Squares RTM on Surface Offset Gathers for more Reliable Quantitative Interpretation - Santos Basin Case Study. In: SEG International Exposition and 90th Annual Meeting. Houston, TX, USA (virtual event).
- SOUZA, L.S., Y SGARBI, G.N.C. 2019. Bacia de Santos no Brasil: geologia, exploração e produção de petróleo e gás natural. Boletim de Geologia, 41(1), 175-195. DOI: 10.18273/revbol.v41n1-201900.
- SCHLAGER, W. 2002. Sedimentology and Sequence Stratigraphy of Carbonate Rocks. Universiteit/Earth and Life Sciences De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam, Netherlands. 2002.
- SPADINI, A.R.; ESTEVES, F.R.; DIAS-BRITO, D.; AZEVEDO, R.L.M. & RODRIGUES, R. 1988. The Macaé Formation, Campos Basin, Brazil: Its Evolution in the Context of the Initial History of South Atlantic. Revista Brasileira de Geociências, 18 (3): 261-272.
- TAGLIARI, c.v. (2013). Ambientes de Sedimentação mista (siliciclástica e carbonática), cicloestratigrafia e halocinese durante o Albiano, Plataforma de Regência, Bacia do Espírito Santo. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia da UNISINOS. 207f.
- TARANTOLA, A. 1984. Inversion of Seismic Reflection Data in the Acoustic Approximation: Geophysics, 49: 1259-1266.
- TEIXEIRA, L. 2021. Quantitative Seismic Interpretation in Evaporite Formations. Tese de Doutorado, UFF, Niterói, Brazil.
- TERRA, J.G.S. 2010. Classificações clássicas de rochas carbonáticas. Boletim Geociências Petrobras, v. 18, n. 1, p. 9-29, 2010.
- THOMAS, J.E. 2004. Velocidades Sísmicas. Salvador, Bahia, Petrobras, 98p.

- TUCKER, M.E. & WRIGHT, V.P. 1990. Carbonate Sedimentology. 1990 Blackwell Science Ltd. ISBN: 978-0-632-01472-9. p481.
- VIVIERS, M.C.; AZEVEDO, R.L.M. 1988. The Southeastern Area of the Brazilian Continental Margin: Its Evolution during the Middle and Late Cretaceous as Indicated by Paleocological Data. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 18 (3): 291-298.
- WAISMAN, G.; GUIRRO, A.C; SOUZA, C.A.V.; ZARPELON, P.R; FRANCO, M.P.; FILHO, J.S.P.; JUNIOR, P.P.; FONTANETA, G.T.; JUNIOR, P.A.M.; STIRLING, R.A. (2019). Correlação Estratigráfica (Alta Frequência) da Sequência SD-K60 nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo. Relatório Interno, PETROBRAS, Exploração.
- WINTER, W.R.; JAHNERT, R.J. & FRANÇA, A.B. 2007. Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 511-529, maio/novembro 2007.
- YAMAMOTO, T.; BORGES, F.; ASSIS, Y.; CAMARGO, G.; RIBEIRO, O.; BENAC, P.; MAUL, A. 2023. Reservoir depth prediction and GRV uncertainty analyses when building alternative seismic velocity scenarios: a case applied in the pre-salt reservoir of the Santos Basin. Eighteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society. SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.
- YAMAMOTO, T.M.; MAUL, A.R.; MENEGUIN, T.P. LUPINACCI, W.M. 2018. Análise de Sismofacies e das Propriedades de Velocidades e Densidade na Seção Salífera na Bacia de Santos. 49º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro
- YAN, F.; HUA, H.; YAO, Q. & CHEN, X.L. 2016. Seismic Velocities of Halite Salt: Anisotropy, Heterogeneity, Dispersion, Temperature, and Pressure Effects, *Geophysics* 81(4): D293-D301.
- ZALAN, P.V. & OLIVEIRA, J.A.B. (2005). Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil (Origin and structural evolution of the Cenozoic Rift System of Southeastern Brasil). *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 269-300, maio/nov. 2005.
- ZHANG, Y. & WANG, D. 2009. Traveltime Information-Based Wave-Equation Inversion: *Geophysics*, 74(6): WCC27-WCC36.

# 11 ANEXOS

## 11.1 Anexo I

Tabela 23 - Topos das sequências e Isópacas das zonas estratigráficas estudadas.

Poço	TVDSS	Zona Atingida/	TVDSS Topo	Isópaca	TVDSS Topo	Isópaca	TVDSS Topo	Isópaca	TVDSS Topo	Isópaca	TVDSS Topo
	Fundo Mar (m)	Atravessada	AlbSup-Ceno (m)	AlbSup-Ceno (m)	K60-80 (m)	K60-80 (m)	K60-50 (m)	K60-50 (m)	K60-20 (m)	K60-20 (m)	Sal (m)
P-01	139,00	K60-50	4543,00	150,00	4693,00	428,00	5121,00				
P-02	148,00	K60-50	4697,00	143,00	4840,00	333,00	5173,00				
P-03	187,00	K60-50	4581,00	119,00	4700,00	451,00	5151,00	442,00	5593,00		
P-04	218,00	K60-80	4779,00	188,00	4967,00						
P-05	101,00	K60-50	4284,00	226,00	4510,00	280,00	4790,00				
P-06	196,00	K60-50	4623,00	133,00	4756,00	520,00	5276,00				
P-07	164,00	K60-50	4660,00	176,00	4836,00	394,00	5230,00				
P-08	147,00	K60-50	4506,00	233,00	4739,00	394,00	5133,00				
P-09	494,00	Todas	4844,00	434,00	5278,00	244,00	5522,00	79,00	5601,00	63,60	5664,60
P-10	143,00	Todas	4465,00	214,00	4679,00	486,00	5165,00	301,00	5466,00	478,41	5944,41
P-11	100,00	K60-50	4420,00	324,00	4744,00	713,00	5457,00				
P-12	86,00	Todas	1906,00	369,00	2275,00	331,00	2606,00	303,00	2909,00	116,15	3025,15
P-13	122,00	AlbSup-Ceno	4690,00								
P-14	141,00	K60-50	4902,00	180,00	5082,00	168,00	5250,00				
P-15	122,80	K60-20	4576,00	339,00	4915,00	433,00	5348,00	408,00	5756,00		
P-16	97,20	Todas	2826,00	492,00	3318,00	516,00	3834,00	263,00	4097,00	196,60	4293,60
P-17	89,00	K60-50	2385,00	614,00	2999,00	103,00	3102,00				
P-18	2254,00	Todas	5505,00	108,00	5613,00	39,00	5652,00	41,00	5693,00	63,60	5756,60
P-19	263,00	K60-80	4363,00	150,00	4513,00						
P-20	2051,00	Todas	4923,00	290,00	5213,00	45,00	5258,00	25,00	5283,00	33,70	5316,70
P-21	2144,00	Todas	3420,00	259,00	3679,00	56,00	3735,00	30,00	3765,00	53,52	3818,52
P-22	334,00	K60-50	4394,00	103,00	4497,00	204,00	4701,00				
P-23	2177,00	Todas	3109,00	331,00	3440,00	24,00	3464,00	31,00	3495,00	68,70	3563,70
P-24	165,00	K60-80	3722,00	143,00	3865,00						
P-25	289,00	Todas	4029,00	19,00	4048,00	171,00	4219,00	264,00	4483,00	292,00	4775,00
P-26	349,00	Todas	3051,00	572,00	3623,00	46,00	3669,00	39,00	3708,00	51,71	3759,71
P-27	152,00	Todas	3804,00	254,00	4058,00	328,00	4386,00	250,00	4636,00	58,04	4694,04
P-28	1202,00	K60-20	4883,00	278,00	5161,00	121,00	5282,00	96,00	5378,00		
P-29	2156,00	Todas	3134,00	114,00	3248,00	65,00	3313,00	34,00	3347,00	13,00	3360,00
P-30	2297,00	Todas	3882,00	238,00	4120,00	172,00	4292,00	67,00	4359,00	36,19	4395,19
P-31	2305,00	Todas	3694,00	189,00	3883,00	145,00	4028,00	56,00	4084,00	45,00	4129,00
P-32	598,00	K60-50	4002,00	237,00	4239,00	560,00	4799,00				
P-33	1275,00	Todas	5268,00	41,00	5309,00	67,00	5376,00	37,00	5413,00	52,47	5465,47
P-34	146,60	K60-20	3479,00	429,00	3908,00	366,00	4274,00	282,00	4556,00		
P-35	2009,00	Todas	3797,00	97,00	3894,00	44,00	3938,00	68,00	4006,00	52,92	4058,92
P-36	2297,00	Todas	3114,00	272,00	3386,00	53,00	3439,00	34,00	3473,00	41,74	3514,74
P-37	2121,00	Todas	2776,00	212,00	2988,00	44,00	3032,00	25,00	3057,00	47,00	3104,00
P-38	154,00	Todas	3366,00	133,00	3499,00	131,00	3630,00	104,00	3734,00	34,10	3768,10
P-39	150,00	Todas	3317,00	47,00	3364,00	170,00	3534,00	78,00	3612,00	27,70	3639,70
P-40	469,00	Todas	2922,00	24,00	2946,00	213,00	3159,00	72,00	3231,00	86,20	3317,20
P-41	143,00	K60-20	4274,00	276,00	4550,00	607,00	5157,00	860,00	6017,00		
P-42	155,00	Todas	4342,00	156,00	4498,00	365,00	4863,00	758,00	5621,00	137,25	5758,25
P-43	136,00	K60-20	3988,00	365,00	4353,00	440,00	4793,00	413,00	5206,00		
P-44	151,00	K60-50	4176,00	370,00	4546,00	319,00	4865,00				
P-45	138,00	K60-20	3761,00	547,00	4308,00	280,00	4588,00	257,00	4845,00		
P-46	64,00	K60-80	3217,00	949,00	4166,00						
P-47	148,00	Todas	2749,00	168,00	2917,00	559,00	3476,00	513,00	3989,00	75,98	4064,98
P-48	101,00	K60-20	2634,00	302,00	2936,00	443,00	3379,00	338,00	3717,00		
P-49	80,00	K60-20	1276,00	342,00	1618,00	252,00	1870,00	305,00	2175,00		
P-50	100,40	K60-80	3988,00	409,00	4397,00						
P-51	138,00	Todas	1239,00	318,00	1557,00	640,00	2197,00	483,00	2680,00	198,03	2878,03
P-52	217,00	K60-50	4325,00	755,00	5080,00	640,00	5720,00				
P-53	151,00	K60-50	4916,00	162,00	5078,00	433,00	5511,00				
P-54	147,00	K60-80	4619,00	214,00	4833,00						
P-55	135,00	K60-50	4185,00	184,00	4369,00	239,00	4608,00				
P-56	147,00	K60-50	5120,00				5129,00				
P-57	468,00	AlbSup-Ceno	4900,00			0,00					
P-58	1763,00	Todas	5895,00	149,00	6044,00	50,00	6094,00	45,00	6139,00	37,60	6176,60
P-59	808,00	K60-50	4292,00	449,00	4741,00	131,00	4872,00				
P-60	1207,00	K60-20	4261,00	299,00	4560,00	106,00	4666,00	883,00	5549,00		
P-61	1038,00	AlbSup-Ceno	4561,00								
P-62	874,00	Todas	5108,00	289,00	5397,00	238,00	5635,00	184,00	5819,00	190,50	6009,50
P-63	1235,00	Todas	4141,00	440,00	4581,00	82,00	4663,00	869,00	5532,00	230,20	5762,20
P-64	297,00	K60-80	3948,00	211,00	4159,00						
P-65	1361,00	K60-80	4877,54								
P-66	337,00	K60-80	3712,00	135,00	3847,00						
P-67	2033,00	Todas	4252,00	164,00	4416,00	59,00	4475,00	112,00	4587,00	31,86	4618,86
P-68	2038,00	Todas	5326,00	391,00	5717,00	60,00	5777,00	77,00	5854,00	331,75	6185,75
P-69	1894,00	Todas	3257,00	5,00	3262,00				3274,00	35,74	3309,74
P-70	1972,00	Todas	4454,00	66,00	4520,00	56,00	4576,00	82,00	4658,00	70,50	4728,50
P-71	1987,00	Todas	3999,00	138,00	4137,00	27,00	4164,00	7,00	4171,00	52,99	4223,99
P-72	1862,00	Todas	3363,00	11,00	3374,00				3403,00	37,51	3440,51
P-73	1533,00	Todas	4052,00	565,00	4617,00	200,00	4817,00	251,00	5068,00	180,77	5248,77
P-74	1576,00	Todas	3970,00	478,00	4448,00	103,00	4551,00	127,00	4678,00	294,50	4972,50
P-75	1843,00	Todas	4558,00	154,00	4712,00	147,00	4859,00	69,00	4928,00	241,02	5169,02
P-76	2042,00	Todas	3717,00	356,00	4073,00	135,00	4208,00	47,00	4255,00	70,65	4325,65
P-77	1515,00	K60-50	3250,00	241,00	3491,00	248,00	3739,00				

## 11.2 Anexo II

Tabela 24 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona AlbSup-Ceno, na região proximal da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Proximal</b>	P-48	101,00	2634	2634	2533	3307	4405	3592
	P-47	148,00	2749	2749	2601	2395	5053	3411
	P-43	136,00	3988	3988	3852	3240	5503	4328
	P-44	151,00	4176	4176	4025	3785	5445	4588
	P-42	155,00	4342	4342	4187	3933	5389	4512
	P-41	143,00	4274	4274	4131	4160	5669	4887
	P-46	64,00	3217	3217	3153	2390	5556	3893
	P-45	138,00	3761	3761	3623	3681	5551	4477
	P-51	138,00	1239	1239	1101	1718	5254	3124
	P-49	80,00	1276	1276	1196	1980	5232	3483
	P-27	152,00	3804	3804	3652	3831	5450	4653
	P-16	97,20	2826	2826	2729	3228	5384	3842
	P-17	89,00	2385	2385	2296	3182	5155	3727
	P-12	86,00	1906	1906	1820	2154	5438	3677
	P-50	100,40	3988	3988	3888	3810	5523	4258

Tabela 25 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona AlbSup-Ceno, na região intermediária da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Intermediária Sul</b>	P-53	151,00	4916	4916	4765	4084	5499	4423
	P-55	135,00	4185	4185	4050	4216	5820	4639
	P-08	147,00	4506	4506	4359	4025	5155	4440
	P-56	147,00	5120	5120	4973	3279	4821	3805
	P-54	147,00	4619	4619	4472	4022	5302	4497
	P-14	141,00	4902	4902	4761	4580	5841	5285
	P-52	217,00	4325	4325	4108	4405	5951	4982
<b>Strike Intermediária Norte</b>	P-66	337,00	3712	3712	3375	2892	4523	3712
	P-39	150,00	3317	3317	3167	3720	6072	4427
	P-59	808,00	4292	4292	3484	3498	6447	5010
	P-64	297,00	3948	3948	3651	3743	5745	4195
	P-60	1207,00	4261	4261	3054	3940	5657	4796
	P-28	1202,00	4883	4883	3681	4194	5493	4976
	P-62	874,00	5108	5108	4234	4216	5940	4885
	P-33	1275,00	5268	5268	3993	3777	5721	4652
	P-61	1038,00	4561	4561	3523	4104	5391	4604
	P-63	1235,00	4141	4141	2906	3661	5359	4717

Tabela 26 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona AlbSup-Ceno, na região distal da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Distal Sul</b>	P-57	468,00	4900	4900	4432	3539	4348	4007
	P-18	2254,00	5505	5505	3251	3693	6316	4325
	P-58	1763,00	5895	5895	4132	4693	5493	5088
	P-09	494,00	4844	4844	4350	3976	5079	4569
<b>Strike Distal Norte</b>	P-77	1515,00	3250	3250	1735	2447	6993	3702
	P-68	2038,00	5326	5326	3288	4626	5817	5369
	P-73	1533,00	4052	4052	2519	3101	5166	4073
	P-69	1894,00	3257	3257	1363	3364	3894	3519
	P-20	2051,00	4923	4923	2872	3286	5494	4545
	P-74	1576,00	3970	3970	2394	3114	5064	4005
	P-72	1862,00	3363	3363	1501	2558	3825	3100
	P-70	1972,00	4454	4454	2482	3457	4761	4106
	P-67	2033,00	4252	4252	2219	3325	4603	3829
	P-76	2042,00	3717	3717	1675	2797	4315	3647
	P-71	1987,00	3999	3999	2012	3218	4049	3753
	P-75	1843,00	4558	4558	2715	3729	5377	4436

Tabela 27 - Dados para análises V<sub>px</sub>St e V<sub>px</sub>Sr, na zona AlbSup-Ceno, em toda a bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Dip Extremo Sul</b>	P-01	139,00	4543	4543	4404	3628	5123	4268
	P-03	187,00	4581	4581	4394	4245	5462	4688
	P-10	143,00	4465	4465	4322	3990	5673	4545
	P-04	218,00	4779	4779	4561	4464	5352	4873
	P-08	147,00	4506	4506	4359	4025	5155	4440
	P-05	101,00	4284	4284	4183	3891	5782	4656
	P-06	196,00	4623	4623	4427	4263	5453	4692
	P-02	148,00	4697	4697	4549	4086	6067	4525
	P-09	494,00	4844	4844	4350	3976	5079	4569
	P-07	164,00	4660	4660	4496	3373	5409	4642
<b>Dip Sul</b>	P-16	97,20	2826	2826	2729	3228	5384	3842
	P-13	122,00	4690	4690	4568	4245	5359	4656
	P-17	89,00	2385	2385	2296	3182	5155	3727
	P-12	86,00	1906	1906	1820	2154	5438	3677
	P-18	2254,00	5505	5505	3251	3693	6316	4325
	P-11	100,00	4420	4420	4320	3879	5351	4447
	P-14	141,00	4902	4902	4761	4580	5841	5285
	P-15	122,80	4576	4576	4453	3967	5034	4410
<b>Dip Centro</b>	P-19	263,00	4363	4363	4100	3448	5194	4321
	P-27	152,00	3804	3804	3652	3831	5450	4653
	P-25	289,00	4029	4029	3740	4052	5065	4542
	P-24	165,00	3722	3722	3557	3031	5602	4628
	P-21	2144,00	3420	3420	1276	2751	3830	3326
	P-20	2051,00	4923	4923	2872	3286	5494	4545
	P-26	349,00	3051	3051	2702	2269	4094	3210
	P-22	334,00	4394	4394	4060	4182	5386	4858
	P-23	2177,00	3109	3109	932	2527	3991	3297
	<b>Dip Norte</b>	P-32	598,00	4002	4002	3404	3833	5817
P-34		146,60	3479	3479	3332	3484	5155	4199
P-28		1202,00	4883	4883	3681	4194	5493	4976
P-33		1275,00	5268	5268	3993	3777	5721	4652
P-35		2009,00	3797	3797	1788	3238	4228	3750
P-29		2156,00	3134	3134	978	2681	3216	2966
P-31		2305,00	3694	3694	1389	2666	4201	3483
P-36		2297,00	3114	3114	817	2298	3668	3001
P-30		2297,00	3882	3882	1585	2857	4195	3611
P-37		2121,00	2776	2776	655	2077	3220	2665
<b>Dip Extremo Norte</b>	P-38	154,00	3366	3366	3212	2683	5963	4457
	P-39	150,00	3317	3317	3167	3720	6072	4427
	P-40	469,00	2922	2922	2453	3266	6106	5176
<b>Strike Proximal</b>	P-48	101,00	2634	2634	2533	3307	4405	3592
	P-47	148,00	2749	2749	2601	2395	5053	3411
	P-43	136,00	3988	3988	3852	3240	5503	4328
	P-44	151,00	4176	4176	4025	3785	5445	4588
	P-42	155,00	4342	4342	4187	3933	5389	4512
	P-41	143,00	4274	4274	4131	4160	5669	4887
	P-46	64,00	3217	3217	3153	2390	5556	3893
	P-45	138,00	3761	3761	3623	3681	5551	4477
	P-51	138,00	1239	1239	1101	1718	5254	3124
	P-49	80,00	1276	1276	1196	1980	5232	3483
	P-27	152,00	3804	3804	3652	3831	5450	4653
	P-16	97,20	2826	2826	2729	3228	5384	3842
	P-17	89,00	2385	2385	2296	3182	5155	3727
	P-12	86,00	1906	1906	1820	2154	5438	3677
	P-50	100,40	3988	3988	3888	3810	5523	4258
<b>Strike Intermediária Sul</b>	P-53	151,00	4916	4916	4765	4084	5499	4423
	P-55	135,00	4185	4185	4050	4216	5820	4639
	P-08	147,00	4506	4506	4359	4025	5155	4440
	P-56	147,00	5120	5120	4973	3279	4821	3805
	P-54	147,00	4619	4619	4472	4022	5302	4497
	P-14	141,00	4902	4902	4761	4580	5841	5285
P-52	217,00	4325	4325	4108	4405	5951	4982	
<b>Strike Distal Sul</b>	P-57	468,00	4900	4900	4432	3539	4348	4007
	P-18	2254,00	5505	5505	3251	3693	6316	4325
	P-58	1763,00	5895	5895	4132	4693	5493	5088
	P-09	494,00	4844	4844	4350	3976	5079	4569
<b>Strike Intermediária Norte</b>	P-66	337,00	3712	3712	3375	2892	4523	3712
	P-39	150,00	3317	3317	3167	3720	6072	4427
	P-59	808,00	4292	4292	3484	3498	6447	5010
	P-64	297,00	3948	3948	3651	3743	5745	4195
	P-60	1207,00	4261	4261	3054	3940	5657	4796
	P-28	1202,00	4883	4883	3681	4194	5493	4976
	P-62	874,00	5108	5108	4234	4216	5940	4885
	P-33	1275,00	5268	5268	3993	3777	5721	4652
	P-61	1038,00	4561	4561	3523	4104	5391	4604
P-63	1235,00	4141	4141	2906	3661	5359	4717	
<b>Strike Distal Norte</b>	P-77	1515,00	3250	3250	1735	2447	6993	3702
	P-68	2038,00	5326	5326	3288	4626	5817	5369
	P-73	1533,00	4052	4052	2519	3101	5166	4073
	P-69	1894,00	3257	3257	1363	3364	3894	3519
	P-20	2051,00	4923	4923	2872	3286	5494	4545
	P-74	1576,00	3970	3970	2394	3114	5064	4005
	P-72	1862,00	3363	3363	1501	2558	3825	3100
	P-70	1972,00	4454	4454	2482	3457	4761	4106
	P-67	2033,00	4252	4252	2219	3325	4603	3829
	P-76	2042,00	3717	3717	1675	2797	4315	3647
	P-71	1987,00	3999	3999	2012	3218	4049	3753
P-75	1843,00	4558	4558	2715	3729	5377	4436	

Tabela 28 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-80, na região proximal da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Mín (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Proximal</b>	P-48	101,00	2936	2936	2835	3488	5599	4138
	P-47	148,00	2917	2917	2769	3463	6130	4916
	P-43	136,00	4353	4353	4217	3620	6438	5254
	P-44	151,00	4546	4546	4395	3497	6192	5197
	P-42	155,00	4498	4498	4343	4670	6332	5800
	P-41	143,00	4550	4550	4407	4466	6168	5497
	P-46	64,00	4166	4166	4102	3451	4936	4222
	P-45	138,00	4308	4308	4170	3650	5889	4790
	P-51	138,00	1557	1557	1419	1743	5705	4526
	P-49	80,00	1618	1618	1538	2891	5318	4351
	P-27	152,00	4058	4058	3906	5082	6458	5877
	P-16	97,20	3318	3318	3221	2595	6052	5254
	P-17	89,00	2999	2999	2910	3434	5886	5052
	P-12	86,00	2275	2275	2189	2656	6640	4633
	P-50	100,40	4397	4397	4297	3683	5908	4684

Tabela 29 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-80, na região intermediária da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Mín (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Intermediária Sul</b>	P-53	151,00	5078	5078	4927	5096	6407	5933
	P-55	135,00	4369	4369	4234	4329	6144	5583
	P-08	147,00	4739	4739	4592	4202	6995	5770
	P-54	147,00	4833	4833	4686	4503	6281	5732
	P-14	141,00	5082	5082	4941	5130	6008	5694
<b>Strike Intermediária Norte</b>	P-66	337,00	3847	3847	3510	3076	6321	4268
	P-39	150,00	3364	3364	3214	2762	6047	4917
	P-59	808,00	4741	4741	3933	4166	6103	5086
	P-64	297,00	4159	4159	3862	4007	5781	4459
	P-60	1207,00	4560	4560	3353	3722	5827	4485
	P-28	1202,00	5161	5161	3959	3660	5789	4692
	P-62	874,00	5397	5397	4523	4244	5884	4912
	P-33	1275,00	5309	5309	4034	3999	5152	4742
	P-63	1235,00	4581	4581	3346	3546	5442	4463

Tabela 30 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-80, na região distal da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Mín (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Distal Sul</b>	P-18	2254,00	5613	5613	3359	3389	4327	3972
	P-58	1763,00	6044	6044	4281	4396	4992	4740
	P-09	494,00	5278	5278	4784	4416	5507	5013
<b>Strike Distal Norte</b>	P-77	1515,00	3491	3491	1976	2774	6961	4651
	P-68	2038,00	5717	5717	3679	4217	5964	5147
	P-73	1533,00	4617	4617	3084	3195	5630	4433
	P-69	1894,00	3262	3262	1368	3202	5781	4513
	P-20	2051,00	5213	5213	3162	3793	5995	4604
	P-74	1576,00	4448	4448	2872	3000	5031	4143
	P-72	1862,00	3374	3374	1512	2855	5690	3281
	P-70	1972,00	4520	4520	2548	3119	4833	3925
	P-67	2033,00	4416	4416	2383	2959	4478	3671
	P-76	2042,00	4073	4073	2031	3030	6952	3888
	P-71	1987,00	4137	4137	2150	3045	4479	3649
	P-75	1843,00	4712	4712	2869	3019	5519	4442

Tabela 31 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-80, em toda a bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Dip Extremo Sul</b>	P-01	139,00	4693	4693	4554	4175	6258	5525
	P-03	187,00	4700	4700	4513	4067	6183	5761
	P-10	143,00	4679	4679	4536	4535	6316	5672
	P-04	218,00	4967	4967	4749	5035	6163	5811
	P-08	147,00	4739	4739	4592	4202	6995	5770
	P-05	101,00	4510	4510	4409	3720	5952	5184
	P-06	196,00	4756	4756	4560	3791	6986	5839
	P-02	148,00	4840	4840	4692	4386	6933	5715
	P-09	494,00	5278	5278	4784	4416	5507	5013
P-07	164,00	4836	4836	4672	4264	6033	5677	
<b>Dip Sul</b>	P-16	97,20	3318	3318	3221	2595	6052	5254
	P-17	89,00	2999	2999	2910	3434	5886	5052
	P-12	86,00	2275	2275	2189	2656	6648	4633
	P-18	2254,00	5613	5613	3359	3389	4327	3972
	P-11	100,00	4744	4744	4644	5014	6309	5852
	P-14	141,00	5082	5082	4941	5130	6008	5694
P-15	122,80	4915	4915	4792	4400	5933	5326	
<b>Dip Centro</b>	P-19	263,00	4513	4513	4250	4214	5303	4675
	P-27	152,00	4058	4058	3906	5082	6459	5877
	P-25	289,00	4048	4048	3759	4436	5600	5037
	P-24	165,00	3865	3865	3700	4759	6006	5122
	P-21	2144,00	3679	3679	1535	2889	4818	3809
	P-20	2051,00	5213	5213	3162	3793	5995	4604
	P-26	349,00	3623	3623	3274	3341	5393	4207
	P-22	334,00	4497	4497	4163	4308	5814	5002
	P-23	2177,00	3440	3440	1263	3199	3883	3482
<b>Dip Norte</b>	P-32	598,00	4239	4239	3641	3925	6071	4918
	P-34	146,60	3908	3908	3761	3763	5614	4479
	P-28	1202,00	5161	5161	3959	3660	5789	4692
	P-33	1275,00	5309	5309	4034	3999	5152	4742
	P-35	2009,00	3894	3894	1885	3069	4946	3935
	P-29	2156,00	3248	3248	1092	2547	3942	3251
	P-31	2305,00	3883	3883	1578	2690	4501	3545
	P-36	2297,00	3386	3386	1089	2701	5101	3492
	P-30	2297,00	4120	4120	1823	2707	4611	3594
P-37	2121,00	2988	2988	867	2666	4054	3121	
<b>Dip Extremo Norte</b>	P-38	154,00	3499	3499	3345	3436	5573	4322
	P-39	150,00	3364	3364	3214	2762	6047	4917
	P-40	469,00	2946	2946	2477	2883	5805	4156
<b>Strike Proximal</b>	P-48	101,00	2936	2936	2835	3488	5599	4138
	P-47	148,00	2917	2917	2769	3463	6130	4916
	P-43	136,00	4353	4353	4217	3620	6438	5254
	P-44	151,00	4546	4546	4395	3497	6192	5197
	P-42	155,00	4498	4498	4343	4670	6332	5800
	P-41	143,00	4550	4550	4407	4466	6168	5497
	P-46	64,00	4166	4166	4102	3451	4936	4222
	P-45	138,00	4308	4308	4170	3650	5889	4790
	P-51	138,00	1557	1557	1419	1743	5705	4526
	P-49	80,00	1618	1618	1538	2891	5318	4351
	P-27	152,00	4058	4058	3906	5082	6458	5877
	P-16	97,20	3318	3318	3221	2595	6052	5254
	P-17	89,00	2999	2999	2910	3434	5886	5052
	P-12	86,00	2275	2275	2189	2656	6648	4633
P-50	100,40	4397	4397	4297	3683	5908	4684	
<b>Strike Intermediária Sul</b>	P-53	151,00	5078	5078	4927	5096	6407	5933
	P-55	135,00	4369	4369	4234	4329	6144	5583
	P-08	147,00	4739	4739	4592	4202	6995	5770
	P-54	147,00	4833	4833	4686	4503	6281	5732
	P-14	141,00	5082	5082	4941	5130	6008	5694
<b>Strike Distal Sul</b>	P-18	2254,00	5613	5613	3359	3389	4327	3972
	P-58	1763,00	6044	6044	4281	4396	4992	4740
	P-09	494,00	5278	5278	4784	4416	5507	5013
<b>Strike Intermediária Norte</b>	P-66	337,00	3847	3847	3510	3076	6321	4268
	P-39	150,00	3364	3364	3214	2762	6047	4917
	P-59	808,00	4741	4741	3933	4166	6103	5086
	P-64	297,00	4159	4159	3862	4007	5781	4459
	P-60	1207,00	4560	4560	3353	3722	5827	4485
	P-28	1202,00	5161	5161	3959	3660	5789	4692
	P-62	874,00	5397	5397	4523	4244	5884	4912
	P-33	1275,00	5309	5309	4034	3999	5152	4742
	P-63	1235,00	4581	4581	3346	3546	5442	4463
<b>Strike Distal Norte</b>	P-77	1515,00	3491	3491	1976	2774	6961	4651
	P-68	2038,00	5717	5717	3679	4217	5964	5147
	P-73	1533,00	4617	4617	3084	3195	5630	4433
	P-69	1894,00	3262	3262	1368	3202	5781	4513
	P-20	2051,00	5213	5213	3162	3793	5995	4604
	P-74	1576,00	4448	4448	2872	3000	5031	4143
	P-72	1862,00	3374	3374	1512	2855	5690	3281
	P-70	1972,00	4520	4520	2548	3119	4833	3925
	P-67	2033,00	4416	4416	2383	2959	4478	3671
	P-76	2042,00	4073	4073	2031	3030	6952	3888
	P-71	1987,00	4137	4137	2150	3045	4479	3649
P-75	1843,00	4712	4712	2869	3019	5519	4442	

Tabela 32 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-50, na região proximal da bacia.

Seção	Poço	TVDS (m) Fundo Mar	TVDS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<i>Strike</i> Proximal	P-48	101,00	3379	3379	3278	3416	5615	3949
	P-47	148,00	3476	3476	3328	4346	6350	5335
	P-43	136,00	4793	4793	4657	3841	6471	5438
	P-44	151,00	4865	4865	4714	3647	6460	5899
	P-42	155,00	4863	4863	4708	4370	6733	5845
	P-41	143,00	5157	5157	5014	5145	6391	5999
	P-45	138,00	4588	4588	4450	3093	6218	4959
	P-51	138,00	2197	2197	2059	2727	5435	3596
	P-49	80,00	1870	1870	1790	2758	5596	3630
	P-27	152,00	4386	4386	4234	4064	6302	5382
	P-16	97,20	3834	3834	3737	4588	6110	5524
	P-17	89,00	3102	3102	3013	3403	4934	3944
	P-12	86,00	2606	2606	2520	3067	5731	3780

Tabela 33 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-50, na região intermediária da bacia.

Seção	Poço	TVDS (m) Fundo Mar	TVDS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<i>Strike</i> Intermediária Sul	P-53	151,00	5511	5511	5360	5923	6226	6066
	P-55	135,00	4608	4608	4473	4793	6231	5701
	P-08	147,00	5133	5133	4986	4744	6342	5573
	P-54	147,00	5129	5129	4982	4349	6100	5222
	P-14	141,00	5250	5250	5109	5352	5353	5353
<i>Strike</i> Intermediária Norte	P-39	150,00	3534	3534	3384	5167	6320	5961
	P-59	808,00	4872	4872	4064	4576	6073	5206
	P-60	1207,00	4666	4666	3459	3983	6484	4958
	P-28	1202,00	5282	5282	4080	3983	6343	5686
	P-62	874,00	5635	5635	4761	4363	5941	5033
	P-33	1275,00	5376	5376	4101	4144	5361	4734
	P-63	1235,00	4663	4663	3428	3897	6990	5079

Tabela 34 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-50, na região distal da bacia.

Seção	Poço	TVDS (m) Fundo Mar	TVDS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<i>Strike</i> Distal Sul	P-18	2254,00	5652	5652	3398	3658	5425	4455
	P-58	1763,00	6094	6094	4331	4238	5043	4628
	P-09	494,00	5522	5522	5028	4513	5684	4967
<i>Strike</i> Distal Norte	P-77	1515,00	3739	3739	2224	3711	4737	4132
	P-68	2038,00	5777	5777	3739	3899	5784	4895
	P-73	1533,00	4817	4817	3284	4405	6069	5416
	P-20	2051,00	5258	5258	3207	3923	5796	4706
	P-74	1576,00	4551	4551	2975	3398	5889	4780
	P-70	1972,00	4576	4576	2604	3354	5160	4313
	P-67	2033,00	4475	4475	2442	3243	4865	4034
	P-76	2042,00	4208	4208	2166	3555	4481	3939
	P-71	1987,00	4164	4164	2177	3386	4139	3678
	P-75	1843,00	4859	4859	3016	3303	5948	4996

Tabela 35 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-50, em toda a bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Dip Extremo Sul</b>	P-01	139,00	5121	5121	4982	4268	6187	5633
	P-03	187,00	5151	5151	4964	4618	6246	5801
	P-10	143,00	5165	5165	5022	5339	6375	6040
	P-08	147,00	5133	5133	4986	4744	6342	5573
	P-05	101,00	4790	4790	4689	5388	6274	6015
	P-06	196,00	5276	5276	5080	4622	6298	5671
	P-02	148,00	5173	5173	5025	5109	6231	5758
	P-09	494,00	5522	5522	5028	4513	5684	4967
P-07	164,00	5230	5230	5066	5628	5976	5871	
<b>Dip Sul</b>	P-16	97,20	3834	3834	3737	4588	6110	5524
	P-17	89,00	3102	3102	3013	3403	4934	3944
	P-12	86,00	2606	2606	2520	3067	5731	3780
	P-18	2254,00	5652	5652	3398	3658	5425	4455
	P-11	100,00	5457	5457	5357	5543	6441	6080
	P-14	141,00	5250	5250	5109	5352	5353	5353
P-15	122,80	5348	5348	5225	2670	5982	4826	
<b>Dip Centro</b>	P-27	152,00	4386	4386	4234	4064	6302	5382
	P-25	289,00	4219	4219	3930	4036	6073	5310
	P-21	2144,00	3735	3735	1591	3141	4521	3921
	P-20	2051,00	5258	5258	3207	3923	5796	4706
	P-26	349,00	3669	3669	3320	3297	5423	4319
	P-22	334,00	4701	4701	4367	4476	5565	4889
	P-23	2177,00	3464	3464	1287	2923	4127	3580
<b>Dip Norte</b>	P-32	598,00	4799	4799	4201	3495	5883	4442
	P-34	146,60	4274	4274	4127	3794	6140	4897
	P-28	1202,00	5282	5282	4080	3983	6343	5686
	P-33	1275,00	5376	5376	4101	4144	5361	4734
	P-35	2009,00	3938	3938	1929	3358	4477	3833
	P-29	2156,00	3313	3313	1157	2808	3793	3321
	P-31	2305,00	4028	4028	1723	3280	4365	3724
	P-36	2297,00	3439	3439	1142	3083	4094	3469
	P-30	2297,00	4292	4292	1995	3337	4580	3847
P-37	2121,00	3032	3032	911	2638	3993	3093	
<b>Dip Extremo Norte</b>	P-38	154,00	3630	3630	3476	3474	6041	5124
	P-39	150,00	3534	3534	3384	5167	6320	5961
	P-40	469,00	3159	3159	2690	3365	5459	4919
<b>Strike Proximal</b>	P-48	101,00	3379	3379	3278	3416	5615	3949
	P-47	148,00	3476	3476	3328	4346	6350	5335
	P-43	136,00	4793	4793	4657	3841	6471	5438
	P-44	151,00	4865	4865	4714	3647	6460	5899
	P-42	155,00	4863	4863	4708	4370	6733	5845
	P-41	143,00	5157	5157	5014	5145	6391	5999
	P-45	138,00	4588	4588	4450	3093	6218	4959
	P-51	138,00	2197	2197	2059	2727	5435	3596
	P-49	80,00	1870	1870	1790	2758	5596	3630
	P-27	152,00	4386	4386	4234	4064	6302	5382
	P-16	97,20	3834	3834	3737	4588	6110	5524
	P-17	89,00	3102	3102	3013	3403	4934	3944
P-12	86,00	2606	2606	2520	3067	5731	3780	
<b>Strike Intermediária Sul</b>	P-53	151,00	5511	5511	5360	5923	6226	6066
	P-55	135,00	4608	4608	4473	4793	6231	5701
	P-08	147,00	5133	5133	4986	4744	6342	5573
	P-54	147,00	5129	5129	4982	4349	6100	5222
P-14	141,00	5250	5250	5109	5352	5353	5353	
<b>Strike Distal Sul</b>	P-18	2254,00	5652	5652	3398	3658	5425	4455
	P-58	1763,00	6094	6094	4331	4238	5043	4628
	P-09	494,00	5522	5522	5028	4513	5684	4967
<b>Strike Intermediária Norte</b>	P-39	150,00	3534	3534	3384	5167	6320	5961
	P-59	808,00	4872	4872	4064	4576	6073	5206
	P-60	1207,00	4666	4666	3459	3983	6484	4958
	P-28	1202,00	5282	5282	4080	3983	6343	5686
	P-62	874,00	5635	5635	4761	4363	5941	5033
	P-33	1275,00	5376	5376	4101	4144	5361	4734
	P-63	1235,00	4663	4663	3428	3897	6990	5079
<b>Strike Distal Norte</b>	P-77	1515,00	3739	3739	2224	3711	4737	4132
	P-68	2038,00	5777	5777	3739	3899	5784	4895
	P-73	1533,00	4817	4817	3284	4405	6069	5416
	P-20	2051,00	5258	5258	3207	3923	5796	4706
	P-74	1576,00	4551	4551	2975	3398	5889	4780
	P-70	1972,00	4576	4576	2604	3354	5160	4313
	P-67	2033,00	4475	4475	2442	3243	4865	4034
	P-76	2042,00	4208	4208	2166	3555	4481	3939
P-71	1987,00	4164	4164	2177	3386	4139	3678	
P-75	1843,00	4859	4859	3016	3303	5948	4996	

Tabela 36 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-20, na região proximal da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Mín (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Proximal</b>	P-48	101,00	3717	3717	3616	4091	6094	5645
	P-47	148,00	3989	3989	3841	5546	6059	5745
	P-43	136,00	5206	5206	5070	4387	6414	5897
	P-42	155,00	5621	5621	5466	5430	6499	6101
	P-41	143,00	6017	6017	5874	5265	6268	5990
	P-45	138,00	4845	4845	4707	3588	5998	4628
	P-51	138,00	2680	2680	2542	2858	5768	4293
	P-49	80,00	2175	2175	2095	3213	6240	4588
	P-27	152,00	4636	4636	4484	4547	6325	5616
	P-16	97,20	4097	4097	4000	3978	6248	4862
	P-12	86,00	2909	2909	2823	3380	6679	4220

Tabela 37 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-20, na região intermediária da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Mín (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Intermediária Norte</b>	P-39	150,00	3612	3612	3462	5691	6240	6050
	P-60	1207,00	5549	5549	4342	4510	5169	4850
	P-28	1202,00	5378	5378	4176	5253	6369	5962
	P-62	874,00	5819	5819	4945	4217	6691	5147
	P-33	1275,00	5413	5413	4138	4908	5486	5246
	P-63	1235,00	5532	5532	4297	4753	6568	5731

Tabela 38 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-20, na região distal da bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Mín (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Strike Distal Sul</b>	P-18	2254,00	5693	5693	3439	4330	6172	5079
	P-58	1763,00	6139	6139	4376	4772	6044	5445
	P-09	494,00	5601	5601	5107	4691	6087	5713
<b>Strike Distal Norte</b>	P-68	2038,00	5854	5854	3816	4843	5796	5308
	P-73	1533,00	5068	5068	3535	3936	6126	5489
	P-69	1894,00	3274	3274	1380	3327	5171	4290
	P-20	2051,00	5283	5283	3232	4854	5603	5298
	P-74	1576,00	4678	4678	3102	4473	6681	5497
	P-72	1862,00	3403	3403	1541	3919	5996	5316
	P-70	1972,00	4658	4658	2686	3382	5672	4448
	P-67	2033,00	4587	4587	2554	3661	5901	4167
	P-76	2042,00	4255	4255	2213	3572	6103	3844
	P-71	1987,00	4171	4171	2184	3383	4718	4043
	P-75	1843,00	4928	4928	3085	3267	6434	5629

Tabela 39 - Dados para análises VpxSt e VpxSr, na zona K60-20, em toda a bacia.

Seção	Poço	TVDSS (m) Fundo Mar	TVDSS (m) Marcador	St (m)	Sr (m)	Vp Min (m/s)	Vp Máx (m/s)	Vp Média (m/s)
<b>Dip Extremo Sul</b>	P-03	187,00	5993	5993	5406	3510	5729	5071
	P-10	143,00	5466	5466	5323	4549	6634	5951
	P-09	494,00	5601	5601	5107	4691	6087	5713
<b>Dip Sul</b>	P-16	97,20	4097	4097	4000	3978	6248	4862
	P-12	86,00	2909	2909	2823	3380	6679	4220
	P-18	2254,00	5693	5693	3439	4330	6172	5079
<b>Dip Centro</b>	P-27	152,00	4636	4636	4484	4547	6325	5616
	P-25	289,00	4483	4483	4194	4676	6325	6058
	P-21	2144,00	3765	3765	1621	3680	5792	4113
	P-20	2051,00	5283	5283	3232	4854	5603	5298
	P-26	349,00	3708	3708	3359	3885	6405	4576
	P-23	2177,00	3495	3495	1318	3400	4770	4274
<b>Dip Norte</b>	P-34	146,60	4556	4556	4409	3108	5704	4675
	P-28	1202,00	5378	5378	4176	5253	6369	5962
	P-33	1275,00	5413	5413	4138	4908	5486	5246
	P-35	2009,00	4006	4006	1997	3377	6122	4033
	P-29	2156,00	3347	3347	1191	2815	5655	3627
	P-31	2305,00	4084	4084	1779	3588	5603	3901
	P-36	2297,00	3473	3473	1176	3368	4094	3648
	P-30	2297,00	4359	4359	2062	3745	4574	4293
P-37	2121,00	3057	3057	936	2843	6257	3562	
<b>Dip Extremo Norte</b>	P-38	154,00	3734	3734	3580	5811	6278	5962
	P-39	150,00	3612	3612	3462	5691	6240	6050
	P-40	469,00	3231	3231	2762	3978	5631	5016
<b>Strike Proximal</b>	P-48	101,00	3717	3717	3616	4091	6094	5645
	P-47	148,00	3989	3989	3841	5546	6059	5745
	P-43	136,00	5206	5206	5070	4387	6414	5897
	P-42	155,00	5621	5621	5466	5430	6499	6101
	P-41	143,00	6017	6017	5874	5265	6268	5990
	P-45	138,00	4845	4845	4707	3588	5998	4628
	P-51	138,00	2680	2680	2542	2858	5768	4293
	P-49	80,00	2175	2175	2095	3213	6240	4588
	P-27	152,00	4636	4636	4484	4547	6325	5616
	P-16	97,20	4097	4097	4000	3978	6248	4862
P-12	86,00	2909	2909	2823	3380	6679	4220	
<b>Strike Distal Sul</b>	P-18	2254,00	5693	5693	3439	4330	6172	5079
	P-58	1763,00	6139	6139	4376	4772	6044	5445
	P-09	494,00	5601	5601	5107	4691	6087	5713
<b>Strike Intermediária Norte</b>	P-39	150,00	3612	3612	3462	5691	6240	6050
	P-60	1207,00	5549	5549	4342	4510	5169	4850
	P-28	1202,00	5378	5378	4176	5253	6369	5962
	P-62	874,00	5819	5819	4945	4217	6691	5147
	P-33	1275,00	5413	5413	4138	4908	5486	5246
	P-63	1235,00	5532	5532	4297	4753	6568	5731
<b>Strike Distal Norte</b>	P-68	2038,00	5854	5854	3816	4843	5796	5308
	P-73	1533,00	5068	5068	3535	3936	6126	5489
	P-69	1894,00	3274	3274	1380	3327	5171	4290
	P-20	2051,00	5283	5283	3232	4854	5603	5298
	P-74	1576,00	4678	4678	3102	4473	6681	5497
	P-72	1862,00	3403	3403	1541	3919	5996	5316
	P-70	1972,00	4658	4658	2686	3382	5672	4448
	P-67	2033,00	4587	4587	2554	3661	5901	4167
	P-76	2042,00	4255	4255	2213	3572	6103	3844
	P-71	1987,00	4171	4171	2184	3383	4718	4043
P-75	1843,00	4928	4928	3085	3267	6434	5629	

### 11.3 Anexo III

Tabela 40 - Símbolos e códigos das litologias utilizados nas imagens de poços.

SÍMBOLO	CÓDIGO	LITOLOGIA
	AND	ANIDRITA
	ARN	ARENITO
	ARN CRB	ARENITO CARBONÁTICO
	ARNCGL	ARENITO CONGLOMERÁTICO
	AGT	ARGILITO
	BST	BASALTO
	BRV	BRECHA VULCÂNICA
	CLC	CALCÁRIO CRISTALINO
	CAL	CALCÁRIO CRISTALINO
	CGL	CONGLOMERADO
	DBS	DIABÁSIO
	DMT	DIAMICTITO
	DOL	DOLOMITO
	FLH	FOLHELHO
	FLH SLT	FOLHELHO SÍLTICO
	HAL	HALITA
	GRN	GRAINSTONE
	INI	ÍGNIA NÃO IDENTIFICADA
	MRG	MARGA
	MSD	METASSEDIMENTO
	MUD	MUDSTONE
	PCK	PACKSTONE
	RDS	RUDSTONE
	SLT	SILTITO
	TUF	TUFO VULCÂNICO
	VNI	VULCÂNICA NÃO IDENTIFICADA
	WCK	WACKSTONE

## 11.4 Anexo IV

Tabela 41 – Litofácies descritas nesta pesquisa (parte 1), com inferência do sistema deposicional, a posição dentro do sistema e um breve resumo. Fonte: o Autor.

AGRUPAMENTO LITOFÁCIES	FÁCIES INTERPRETADAS	SISTEMA DEPOSICIONAL	POSIÇÃO NO SISTEMA	TIPO DE DEPÓSITO	DESCRIÇÃO
COSTEIROS GROSSEIROS	ARN-FLH	Transicional	Plataforma Interna	Fluvial - Deltaico - Estuarino Proximal	Depósitos siliciclásticos com intercalações de arenitos, folhelhos e conglomerados. Predominância de sedimentação mais grosseira (predominância de arenitos) mas, com presença de sedimentos mais finos (folhelhos).
	ARN-FLH-CGL	Transicional	Plataforma Interna	Fluvial - Deltaico - Estuarino Proximal	Depósitos siliciclásticos com intercalações de arenitos, folhelhos e conglomerados. Predominância de sedimentação mais grosseira (predominância de arenitos e secundariamente conglomerados) mas, com presença de sedimentos mais finos (folhelhos).
	FLH-SLT-ARN	Transicional	Plataforma Interna	Fluvial - Deltaico - Estuarino Intermediário	Depósitos siliciclásticos com intercalações de folhelhos, siltitos e arenitos. Predominância de rochas de granulometria mais fina (folhelhos e secundariamente siltitos) mas, com presença de sedimentos mais grossos (arenitos).
	GRN-PCK intercalados a FLH-ARN-SLT	Transicional / Marinho	Plataforma Interna	Fluvial / Deltaico / Estuarino / Banco Carbonático	Limite entre depósitos siliciclásticos com intercalações de folhelhos, siltitos e arenitos e depósito marinho carbonático de alta energia, (Banco carbonático composto por grainstones e packstones). Siliciclásticos predominantes são mais finos (folhelhos e secundariamente siltitos) mas, com presença de sedimentos mais grossos (arenitos). Resultado de transgressão marinha ou deposição carbonática em alto estrutural relativo.
COSTEIROS FINOS	SLT-FLH-MRG	Transicional	Plataforma Interna	Fluvial - Deltaico - Estuarino Distal	Depósitos siliciclásticos com intercalações de siltitos, folhelhos e margas. Predominância de sedimentação mais fina (siltitos e secundariamente folhelhos e margas).
	FLH-SLT-MRG	Transicional	Plataforma Interna	Fluvial - Deltaico - Estuarino Distal	Depósitos siliciclásticos distais com intercalações de folhelhos, siltitos e margas. Predominância de sedimentação mais fina (folhelhos e secundariamente siltitos e margas).
	FLH	Transicional	Plataforma Interna	Fluvial - Deltaico - Estuarino Distal	Depósitos siliciclásticos distais em plataforma interna, compostos por folhelhos.
LAGUNA - PLATAFORMA INTERNA	FLH-ARN-MRG-MUD-PCK	Transicional	Plataforma Interna	Fluvial - Deltaico - Estuarino Distal / Lagunar	Limite entre depósitos siliciclásticos com intercalações de folhelhos, siltitos e arenitos sobrepondo depósitos de Planície Maré - Lagunar - Marinho Restrito com Mudstones, Wackstones, Folhelhos, Margas, Siltitos e, mais raramente algum arenito.
	MUD-WCK-MRG sobre ARN-FLH	Transicional	Plataforma Interna	Fluvial - Deltaico - Estuarino Intermediário / Lagunar	Limite entre depósitos de Planície Maré - Lagunar - Marinho Restrito com Mudstones, Wackstones, Folhelhos, Margas, Siltitos e, mais raramente algum arenito sobrepondo depósitos siliciclásticos com intercalações de folhelhos, siltitos e arenitos.
	MUD-WCK-MRG	Transicional	Plataforma Interna	Lagunar	Depósitos transicionais, de Planície Maré - Lagunar - Marinho Restrito com Mudstones, Wackstones, Folhelhos, Margas, Siltitos e, mais raramente algum arenito.
	GRN-PCK sobre MUD-WCK-MRG-FLH	Transicional / Marinho	Limite Plataforma Interna / Banco Carbonático	Lagunar / Banco Carbonático	Limite entre depósitos marinhos carbonáticos de alta energia (Banco carbonático composto predominantemente por grainstones e packstones), e depósitos siliciclásticos/carbonáticos finos, representados por sedimentação fina lagunar (mudstones, wackstones, margas e folhelhos).
	MUD-WCK-MRG-FLH sobre PCK-GRN	Transicional / Marinho	Limite Plataforma Interna / Banco Carbonático	Lagunar / Banco Carbonático	Limite entre depósitos siliciclásticos finos, representados por sedimentação fina lagunar (mudstones, wackstones, margas e folhelhos) e depósitos marinhos carbonáticos de alta energia (Banco carbonático composto predominantemente por grainstones e packstones).

Tabela 42 - Litofácies descritas nesta pesquisa (parte 2), com inferência do sistema deposicional, a posição dentro do sistema e um breve resumo. Fonte: o Autor.

AGRUPAMENTO LITOFÁCIES	FÁCIES INTERPRETADAS	SISTEMA DEPOSICIONAL	POSIÇÃO NO SISTEMA	TIPO DE DEPÓSITO	DESCRIÇÃO
<b>PLATAFORMA INTERNA - BORDA DE BANCO</b>	GRN-PCK sobre FLH-ARN-MUD	Transicional / Marinho	Limite Plataforma Interna / Banco Carbonático	Fluvial - Deltaico - Estuarino / Lagunar / Banco Carbonático	Limite entre depósitos marinhos carbonáticos de alta energia (Banco carbonático composto predominantemente por grainstones e packstones), e depósitos transicionais siliciclásticos/carbonáticos finos de borda de bacia, representados por sedimentação fina lagunar (folhelhos e mudstones) e finos e grosseiros, fluviais, délticos, estuarinos (folhelhos e arenitos).
	MRG-FLH sobre MUD-WCK-PCK-GRN	Transicional / Marinho	Plataforma Interna	Lagunar / Borda Interna de Banco Carbonático	Limite entre depósitos transicionais siliciclásticos finos, representados por sedimentação fina lagunar (margas e folhelhos) e depósitos marinhos carbonáticos de baixa energia (mudstones, wackstones e packstones) de borda ou substrato de banco em plataforma interna.
	MUD-WCK-PCK	Marinho	Plataforma Interna ou Plataforma Externa	Borda / Substrato de Banco Carbonático	Depósitos marinhos carbonáticos de baixa energia (mudstones, wackstones e packstones) de borda ou substrato de banco em plataforma interna ou externa.
	MUD-WCK-PCK-GRN	Marinho	Limite Plataforma Interna / Banco Carbonático	Borda Interna de Banco Carbonático / Banco Carbonático	Limite entre depósitos marinhos carbonáticos de alta energia (Banco carbonático composto predominantemente por grainstones e packstones) e depósitos marinhos carbonáticos de baixa energia (mudstones, wackstones e packstones) de borda de banco em plataforma interna.
<b>BANCO CARBONÁTICO</b>	GRN-PCK	Marinho	Banco Carbonático	Banco Carbonático	Depósitos marinhos carbonáticos de alta energia (Banco carbonático composto predominantemente por grainstones e packstones).
<b>BORDA DE BANCO - PLATAFORMA EXTERNA</b>	MUD-WCK-PCK-GRN	Marinho	Limite Banco Carbonático / Plataforma Externa	Banco Carbonático / Borda Externa de Banco Carbonático	Limite entre depósitos marinhos carbonáticos de alta energia (Banco carbonático composto predominantemente por grainstones e packstones) e depósitos marinhos carbonáticos de baixa energia (mudstones, wackstones e packstones) de borda de banco em plataforma externa.
	MUD-WCK-PCK	Marinho	Plataforma Interna ou Plataforma Externa	Borda / Substrato de Banco Carbonático	Depósitos marinhos carbonáticos de baixa energia (mudstones, wackstones e packstones) de borda ou substrato de banco em plataforma interna ou externa.
	GRN-PCK-WCK intercalados a MRG-FLH	Marinho	Limite Banco Carbonático / Plataforma Externa	Banco Carbonático / Plataforma Aberta	Limite entre depósitos marinhos carbonático de alta energia (Banco carbonático composto predominantemente por grainstones e packstones) e Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos em região distal da plataforma externa, composto por intercalações de margas e folhelhos (predominância de margas).
	MUD-WCK-PCK sobre FLH-MRG	Marinho	Plataforma Externa	Borda Externa de Banco Carbonático / Plataforma Aberta	Depósitos marinhos carbonáticos de baixa energia (mudstones, wackstones e packstones) de borda de banco em plataforma externa sobre depósitos de plataforma aberta, predominantemente composto por finos (Folhelho e Marga intercalados). Indica uma interdigitação do sistema.
	MRG-MUD-FLH intercalados	Marinho	Plataforma Externa	Borda Externa de Banco Carbonático / Plataforma Aberta	Depósitos marinhos carbonáticos de baixa energia (predominantemente mudstones) de borda de banco em plataforma externa intercalados a depósitos predominantemente finos (folhelhos e margas) de plataforma aberta.
	MRG-MUD	Marinho	Plataforma Externa	Borda Externa de Banco Carbonático / Plataforma Aberta	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos de plataforma aberta, predominantemente composto por finos (Margas) se intercalando com depósitos carbonáticos marinhos de baixa energia (mudstones), em plataforma externa.

Tabela 43 - Litofácies descritas nesta pesquisa (parte 3), com inferência do sistema deposicional, a posição dentro do sistema e um breve resumo. Fonte: o Autor.

AGRUPAMENTO LITOFÁCIES	FÁCIES INTERPRETADAS	SISTEMA DEPOSICIONAL	POSIÇÃO NO SISTEMA	TIPO DE DEPÓSITO	DESCRIÇÃO
PLATAFORMA EXTERNA - BACIA	FLH-MRG sobre MUD-WCK-PCK	Marinho	Plataforma Externa	Borda Externa de Banco Carbonático / Plataforma Aberta	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos de plataforma aberta, predominantemente composto por finos (Folhelho e Marga intercalados) sobre depósitos carbonáticos marinhos de baixa energia (mudstones, wackstones e packstones) em plataforma externa.
	FLH-SLT-MRG	Marinho	Plataforma Externa	Plataforma Aberta	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos de plataforma aberta, predominantemente composto por finos (Folhelhos, siltitos e Margas intercalados).
	MRG-SLT-FLH	Marinho	Plataforma Externa	Plataforma Aberta	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos de plataforma aberta, predominantemente composto por finos (Margas, siltitos e Folhelhos intercalados).
	MRG	Marinho	Plataforma Externa	Plataforma Aberta	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos em região distal de plataforma externa, composto por margas.
	MRG-FLH	Marinho	Plataforma Externa / Bacia	Plataforma Aberta / Marinho Profundo	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos em região distal de plataforma externa, composto por intercalações de margas e folhelhos (predominância de margas).
	FLH-MRG	Marinho	Plataforma Externa / Bacia	Plataforma Aberta / Marinho Profundo	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos em região distal de plataforma externa, composto por intercalações de margas e folhelhos (predominância de folhelhos).
TURBIDITO	MRG-ARN	Marinho	Plataforma Externa / Bacia	Plataforma Aberta / Marinho Profundo (Sistema Turbidítico)	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos de plataforma aberta, predominantemente composto por Intercalações de margas e arenitos. Possível sistema turbidítico.
	FLH-ARN-MRG-SLT	Marinho	Plataforma Externa / Bacia	Marinho Profundo (Sistema Turbidítico)	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos de plataforma aberta, predominantemente composto por Intercalações de folhelhos, arenitos, siltitos e margas. Possível sistema turbidítico.
	FLH-ARN-SLT-CGL	Marinho	Plataforma Externa / Bacia	Marinho Profundo (Sistema Turbidítico)	Depósitos marinhos siliciclásticos/carbonáticos de plataforma aberta, predominantemente composto por Intercalações de folhelhos, arenitos, siltitos e conglomerados. Possível sistema turbidítico.
BACIA	FLH	Marinho	Bacia	Bacia	Depósitos siliciclásticos bacinais distais com folhelhos.

## 11.5 Anexo V

- Resumo apresentado no 18º Congresso Internacional da SBGF



### Dealing with the Albian-Cenomanian of the Santos Basin, and possible implications in terms of compressional velocity model and the related applications

Vitor Novellino<sup>1,2</sup>; Alexandre Maul<sup>1</sup>; María González<sup>3</sup>; Antonio Fernando Menezes Freire<sup>2</sup>  
(1) Petrobras; (2) UFF; (3) Aspen-Tech

Copyright 2023, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica.  
This paper was prepared for presentation during the 18<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 October 2023.  
Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 18<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

#### Abstract

Despite the fact the salt section in the Santos Basin is currently well studied in terms of compressional velocity and the related applications of it, it is observed a lack of knowledge about the post-salt portions of this basin regarding this property, especially when dealing with the carbonates in the Albian-Cenomanian portion. In the Campos Basin, where this section is more prominent, some studies have been developed taking in account the sedimentary aspects, mainly researching the geological/structural processes evolved in the features records. Recent works have studied the carbonate raft behaviors in a field portion of the Campos Basin, pointing out the necessity in incorporating more geological knowledge to build feasible compressional velocity model, honoring the observed geology. In this regard, the idea of the present study is to split the Albian-Cenomanian section of the Santos Basin in three parts: proximal, intermediate, and distal, and describe the main sedimentary records, facies, and logging signatures when available. After, with the existing sonic information, we infer the geologic compressional velocity distribution in a 3D model, to propose distinct scenarios that portray the known geology. To support any decision, we present several statistical analyses for both: geological facies and compressional velocity. The generated compressional velocity models are tested, evaluating the sensibility of gross-rock volume (GRV) above a chosen reference, always comparing with a standard model – the one delivered for the seismic migration process. All scenarios consider the same inputs for depth calibration. We believe the proposed approach is part of a novel procedure to provide reliable compressional velocity models to be added to the ones already observed for the salt section, to push better seismic migration images in complex areas. The Pre-salt reservoirs in the Campos and Santos basins need this detailed compressional velocity models, and we hope to contribute with this challenging aspect.

## **2D Vp modeling of the Albian-Cenomanian section using geological constrains, 3D extrapolation, and GRV uncertainty analysis of Aptian Presalt reservoir: a Santos Basin example.**

*Vitor Novellino\*, Alexandre Maul, Petrobras; Maria González, Aspen Tech; Fernando Freire, UFF.*

### **Summary**

Presalt reservoirs in the Santos Basin are the main O&G accumulations of Brazil. It is remarkable that the seismic data evolution regarding acquisition and processing, delivers the best possible earth model, reducing decision risks, and minimizing unnecessary costs in any stage of the fields. Vp modeling plays as a vital step for the seismic migration, influencing interpretation, depth forecasting, and rock property estimation. Currently, Vp models are built looking for geological confidence, incorporating the existing heterogeneities, allowing subsurface geological characterization enhancement, especially in geologically complex regions, such as the Brazilian Presalt province. Concerning the Santos Basin, the main heterogeneities to be considered is the representation of the Aptian evaporitic saline section, Albian-Cenomanian carbonatic/siliciclastic section, and intrusive and/or extrusive igneous rocks above the reservoirs. Although the Vp of the saline section are well known, only few studies attest the impact of Vp modeling related with the Albian-Cenomanian layers and igneous rocks. To understand the vertical and spatial behaviors of Vp in the Albian-Cenomanian layers, it was necessary to perform a geological characterization of this section, splitting it into proximal, intermediate, and distal sectors of the basin, through well analysis and seismic interpretations. Statistical analysis of the Vp and lithology logs have provided a better understanding of these variables, aiming in the parameters' quantification to be used in the Vp modeling process. The results add valuable aspects for inherent impacts to the volumetric estimation of rocks. Unlike the Campos Basin, where the Albian-Cenomanian layers form thick rafts, which exert a great influence on the modeling of Vp, in the distal sector of the Santos Basin, location of the Presalt fields, this context is distinct. Apparently, the relevance of these layers is lower than the considerations for salt, however, when the salt thickness is thin, or in the presence of salt over-hangs, without this proposed geological consideration, the updating of Vp by conventional techniques can become unprecise and critical.

### **Introduction**

Since the discovery of the reservoirs in the Presalt province, in the Santos Basin in 2005, more than 300 wells have been drilled (Maul et al., 2021b), with several giant fields being discovered, such as Tupi, Búzios, Mero and Sapinhoá (Leal & Moura, 2021). Covering an area of circa 149,000 km<sup>2</sup>, between the states of Santa Catarina and Espírito Santo, the Presalt Polygon (PRESAL PETROLEO – PPSA) has an enormous importance, emphasized by the

fact that, of the total of approximately 18 billion barrels of hydrocarbons in proven reserves in Brazil, 9.6 billion (~55%) correspond to Presalt reservoirs (ANP, 2022). These fields are responsible for 74% of national O&G production, exceeding 4 MMbbl/day (ANP, 2022).

Minimizing the decisions' risks during the E&P stages of the fields is an aspect closely linked to the maximum accuracy of the geophysical model. Seismic data must be good enough in providing best image to be interpreted, accurate depth positioning and support for properties' distribution. This is closed related to the high quality of seismic Vp model that must represent the entire complexity of the region (Maul et al., 2021a). Knowledge of the vertical and spatial distributions of seismic Vp is important in the creation of seismic VP models, to be used in the processing or interpretation stages (Jones & Davison, 2014; Shadrina et al., 2020), and in volumetric uncertainty estimations (Maul et al., 2021b; Pontes et al., 2019; Camargo et al., 2022; Novellino et al., 2023; Novellino, 2024). The evolution of migration's algorithms has allowed Vp models to be built with greater geological robustness, incorporating many heterogeneities, aiming the maximization of update processes such as tomographic inversion or FWI (Tarantola, 1984; Zhang & Wang, 2009). Guo & Fagin (2002), Huang et al. (2010), Jones & Davison (2014), Gobatto et al. (2016), Maul et al. (2018), Maul et al. (2019), Maul et al., (2021a) defend the inclusion of geometric elements, such as the interpretation of geology from seismic data, with the main objective of incorporate structural complexities, especially those layers or structures arranged above the target.

Considering Presalt reservoirs, the main heterogeneities to be considered in the Vp models are the correct representation of carbonate rocks of Albian age (Camargo et al., 2022), the heterogeneities of the saline section (Maul et al., 2021a) and intrusive and/or extrusive igneous rocks with their erratic distribution, whether in Postsalt, inside salt and in the Presalt (Oliveira et al., 2015). As mentioned before, several studies attest the seismic imaging enhancements when modeling Vp of the salt section. However, studies that present the impact of the incorporation of siliciclastic/carbonate rocks of Albian-Cenomanian age are still rare. Recent research in the Santos Basin (Benac et al., 2021; Novellino et al., 2021; Novellino et al., 2023, Novellino, 2024) and in the Campos Basin (Camargo et al., 2021; Camargo et al., 2022, Camargo et al., 2023) has been conducted aiming to obtain a better understanding of the behavior of Vp for the Postsalt Albian-Cenomanian siliciclastic/carbonate rocks. The results have incorporated uncertainties, related to Vp modeling, into reservoir models, varying the GRV as from 6% (Camargo et al., 2022) to 14% (Maul et al., 2021b), considering

## 2D Vp modeling, 3D extrapolation, and GRV uncertainty analysis

respectively the Albian-Cenomanian siliciclastic/carbonate, and the Aptian evaporitic sections.

In this project, a geological characterization of the Vp of the Albian-Cenomanian interval was performed, concerning the proximal, intermediate, and distal sectors of the Santos Basin, using well data. Considerations were made about the distinct lithotypes described in the analyzed wells, and the depositional region of the basin, taking the Albian-Cenomanian geological time, and its implication for seismic Vp analysis. Alternative Vp models were built by modifying the initial seismic Vp processing model, establishing a confidence degree for each model. Therefore, without considering the effect of the salt section, the influence of the Albian-Cenomanian section was separately addressed in a 2D manner, throughout the quantification of the average rock thickness, calculated between the base of the salt and a reference level, such as an arbitrary O/W contact simulating the similar variation of GRV as made in 3D data.

### Materials

The data used in this work were provided by ANP, consisting of 77 wells spatially distributed in the basin and 10 regional 2D seismic lines, 5 in the dip direction and 5 in the strike direction, to obtain the best spatial representation of the data in the south, center and north regions, in addition to the proximal, intermediate, and distal sectors of the basin.

### Methodology

The methodology applied in this research is illustrated in Figure 1.

Aiming for robust results in the stages of statistical analysis of Vp and lithology, Vp modeling and uncertainty quantification, a geological characterization of Albian-Cenomanian interval was necessary, which involved some previous steps, as seen in left side of Figure 1.

The right part of figure 1, illustrates the whole process of Vp modeling, as described in the sequence.

The statistical analysis of Vp was carried out, characterizing the Vp behavior in each stratigraphic zone, across each sector of the basin, allowing the statistical parameters' definition used in the Vp geological modeling. It was essential to explore an analysis of the lithological logs, which evidenced that the property Vp depends mainly on the lithotypes that are present in each stratigraphic zone. Evaluation of Vp and lithology was made in the studied stratigraphic zones, through the sets of wells, reaching the Vp behavior: (i) in the whole basin, and in each sector of the basin, (ii) proximal, (iii) intermediate and (iv) distal. The spatial definition of the proximal, intermediate, and distal sectors of the basin was established using boundary lines controlled by wells, and their characteristics, the seismic sections, and stratigraphic sections as control points.

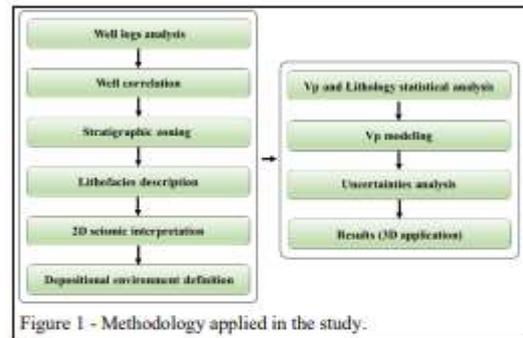


Figure 1 - Methodology applied in the study.

The interpretations of horizons and faults from each 2D seismic section were used to build geological grids, whose layers represented independent regions allowing changes of the Vp per each Albian-Cenomanian zone. The geological modeling of Vp consisted of generation of three alternative Vp models exclusively based on the modification of Vp from seismic processing, in the Albian-Cenomanian layers, using Vp averages derived from statistical analyses. The changes in the Vp were performed by simple replacement of the original seismic processing Vp in the layer, with a representative value, derived from the statistical analysis.

The nomenclature and modeling criteria adopted in each scenario was the following:

- (1) MVpMG – “global average” scenario → considers the average value of the entire Vp distribution.
- (2) MVpMO – “optimistic average” scenario → considers average value of the estimated lower Vp mode.
- (3) MVpMP – “pessimistic average” scenario → considers average value of the estimated higher Vp mode.

Finally, the quantification of the impact of Vp change in the three modeled scenarios, related with the original processing Vp scenario was performed. The average 2D thickness of the “original scenario” was compared with each of the average 2D thickness of the three modified scenarios. From the analysis of the thickness distribution, the average value was used to calculate the % differences of the MVpMG, MVpMO, MVpMP, and the original scenario. The result was illustrated in the form of graphs of % change compared to the original scenario. An approach of measured % variation in the 2D thickness was done (and compared) to “real” GRV (gross rock volume) of a Presalt reservoir in a 3D manner.

### Results and Discussion

The geological characterization was able to individualize four stratigraphic zones of Albian-Cenomanian ages, named as K60-20, K60-50, K60-80, and AlbSup-Ceno, formally agreeing with Moreira et al. (2007).

## 2D Vp modeling, 3D extrapolation, and GRV uncertainty analysis

The distribution of Vp is closely related to the distribution of lithofacies in the basin. The lateral variation of lithofacies within the depositional environment active in the basin, throughout the Albian-Cenomanian, exerts a great influence on velocity modeling. Regions with more siliciclastic lithofacies will have relatively lower Vp than regions with more carbonatic lithofacies, being extremely important the understanding of the deposition environment, active in the basin, at that specific geological age.

The results of the statistical analyzes confirm that the Albian-Cenomanian interval of the Santos Basin contains a series of heterogeneities that constitute distinct velocity domains, generally not incorporated in velocity models. Vp distributions obtained in studied zones, in each sector of the basin are illustrated in Figure 2.

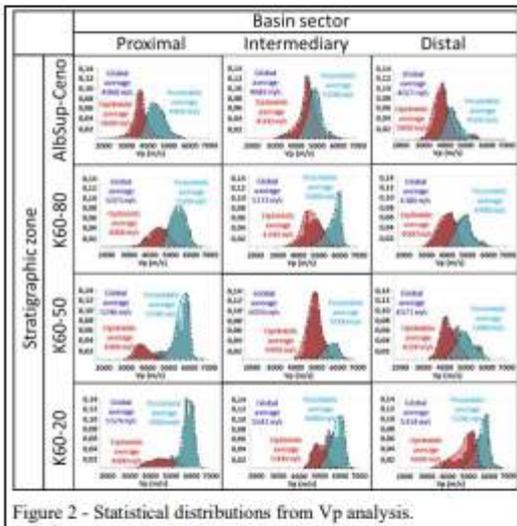


Figure 2 - Statistical distributions from Vp analysis.

The lithotypes that constitutes the Albian-Cenomanian layers are, predominantly, siliciclastic (shales, sandstones, and siltstones), low-energy carbonates (mudstones and wackstones) and high-energy carbonates (packstones and grainstones) and mixed siliciclastic-carbonate (marls), implying a wide range of Vp variation, from 2500 to 6500 m/s in agreement with values described in Thomas (2000) and Camargo et al. (2023). Furthermore, the vertical distribution of Vp in this research is consistent with the model proposed by Camargo (2022), Camargo et al. (2022), Camargo et al. (2023), in the intermediate/distal sectors of the Campos Basin, in which carbonate rafts are divided into three stratigraphic sequences, based on the identification of Vp trends observed in the wells. It is also suggested that the division of these sequences leads to a

grouping of different Vp behaviors, raising the possibility of distinct characteristics for each stratigraphic zone.

As illustrated in Figure 2, the three modeled Vp scenarios incorporated variations in Vp, that are in accordance with the geological behavior of the proximal, intermediate, and distal sectors of the basin. And, together with the original processing Vp model, constitute four plausible scenarios to be used in uncertainty analysis stages, mainly in regions without wells. Modeling strategy forced each model to assume a layered pattern, as seen in Figure 3, whose Vp in each stratigraphic zone was constant in the strike lines (as each line is entirely contained in the basin sectors) or laterally variant in the dip lines (as each line crosses the three sectors of the basin).

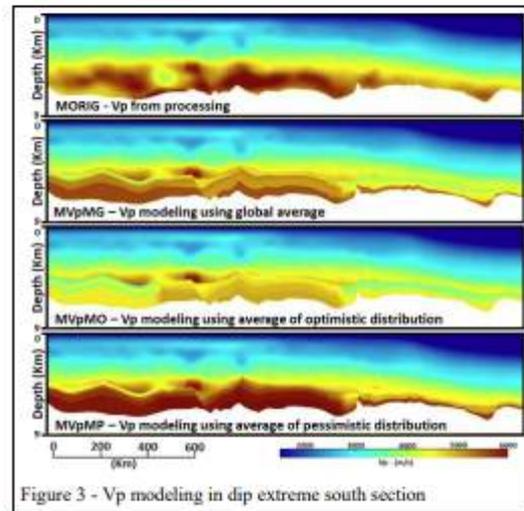


Figure 3 - Vp modeling in dip extreme south section

This approach of geologically Vp modeling, through changing Vp only in the studied layer, based on criteria, not necessarily the same, has been applied in several works, such as those by Maul et al. (2021b), all for the salt layer, Camargo et al. (2022) in carbonate rafts in the Campos Basin, and Oliveira et al. (2015), in the modeling of intrusive and/or extrusive igneous rocks, in the Postsalt sections of the Santos Basin.

The quantification of uncertainty was based on the differences between each of the Vp models built (MVpMG, MVpMO and MVpMP), compared to the processing model. The average thickness (2D) was estimated in the Presalt layer, using base of salt horizon reconverted to depth using each of the Vp modeled scenario, positioned above a fictitious O/W contact at each seismic section. Therefore, the % variation, regarding the average thickness, estimated in the processing model, was calculated. The % range variation of differences between the processing model and alternative scenarios was associated with the GRV (3D) of a Presalt

## 2D Vp modeling, 3D extrapolation, and GRV uncertainty analysis

reservoir. Considering the three sectors, proximal, intermediate, and distal together, it is stated that the uncertainty of Vp modeling in the Albian-Cenomanian portion, the GRV vary from -7.6% to +10.7%, as seen in Figure 4. However, when analyzing the differences only in the distal, north sector of the basin, as it is the region with the large Presalt O&G reservoirs, the % variation is smaller, ranging from -3.9% to 1.2%, highlighting that projects in this sector of the basin have the uncertainty associated with the Vp of the Albian-Cenomanian layers, minimized in the geologically Vp model.

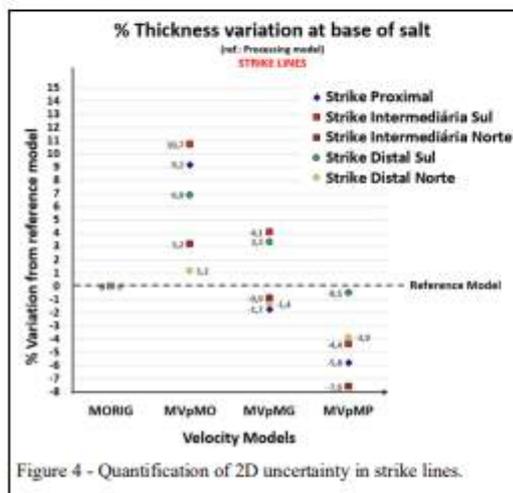


Figure 4 - Quantification of 2D uncertainty in strike lines.

These ranges of variation are consistent with values observed in several studies, such as the following: Pontes et al. (2019) compared models varying the VP of salt layers in 3D data stated reductions in GRV, calculated between the base of salt and a hypothetical horizon, of the order of 5 to 8%. In Camargo et al. (2022), Vp scenarios were created, modeling carbonate rafts, and the GRV variations at the top of the Presalt reservoirs were estimated, with some confidence, at +/-6%. Meneguim et al. (2015) created three stratified salt models using average PDF's that would represent the Vp of the salt layer and found a 3% variation rate in the GRV, when compared with the tomographic model. Maul et al. (2021b) created four distinct Vp scenarios by increasing the geological complexity in the saline layer, based on the tomographic update model, and estimated a difference of 14% in the GRV between the reference model and the model considered more geological. Yamamoto et al. (2023) proposed a methodology for constructing different Vp scenarios with well data, velocity models and seismic data covering both Postsalt and salt sections and believe they have captured the structural uncertainties of the reservoir, providing optimistic scenarios and pessimistic and,

estimating variations in GRV at +11% and -13%, respectively.

### Conclusions

Vp modeling in the Albian-Cenomanian layers and its influence on the Presalt reservoirs led to two questions: (i) a relationship between the thickness of the modeled layers and the difference between the converted surfaces with the three alternative scenarios and, (ii) the correlation between the predominant lithotypes in the layers, in each region of the basin and the modeled Vp. The seismic interpretation in conjunction with well analyzes attests that, in the region of the Presalt, in the distal sector of the basin, the Albian-Cenomanian layers occur, as mini-basins, of small thickness, between the large salt diapirs, as thin continuous layers, on the top of salt walls or, simply do not exist, above some of these large evaporite structures. Thus, where the layers are thin, the differences between conversions are minimized, going to zero where the layers do not exist. It was also proven that, in the distal sector of the basin, where the Presalt fields are located, the lithotypes are predominantly siliciclastic/carbonatic or siliciclastic. This fact, associated with the small thickness of the layers, causes the processing model to have a certain quality and contributes to minimize the differences between it and the modeled scenarios.

The relevance of Albian-Cenomanian rocks, in Vp modeling, in the distal and, economically, more important, region of the Santos Basin seems to be small, in comparison to the evaporite layer, mainly because of the discontinuous distribution, the predominantly small thickness and the little frankly carbonatic contribution in its composition, what makes its seismic Vp capable of being resolved by conventional velocity modeling, such as tomography or FWI. However, since understanding the geological and geophysical characteristics is relevant, the importance of modeling the velocities of these layers should not be overlooked.

An important consideration is related to the discovery of new pre-salt reservoirs. If these reservoirs are proven in intermediate or even proximal sectors of the basin, careful modeling of the Albian-Cenomanian zones should be considered as it is clear that the uncertainties associated with the Presalt increase.

### Acknowledgments

The authors would like to thank the Petrobras Brazil, Rio de Janeiro reservoir office for the permission to publish this work.