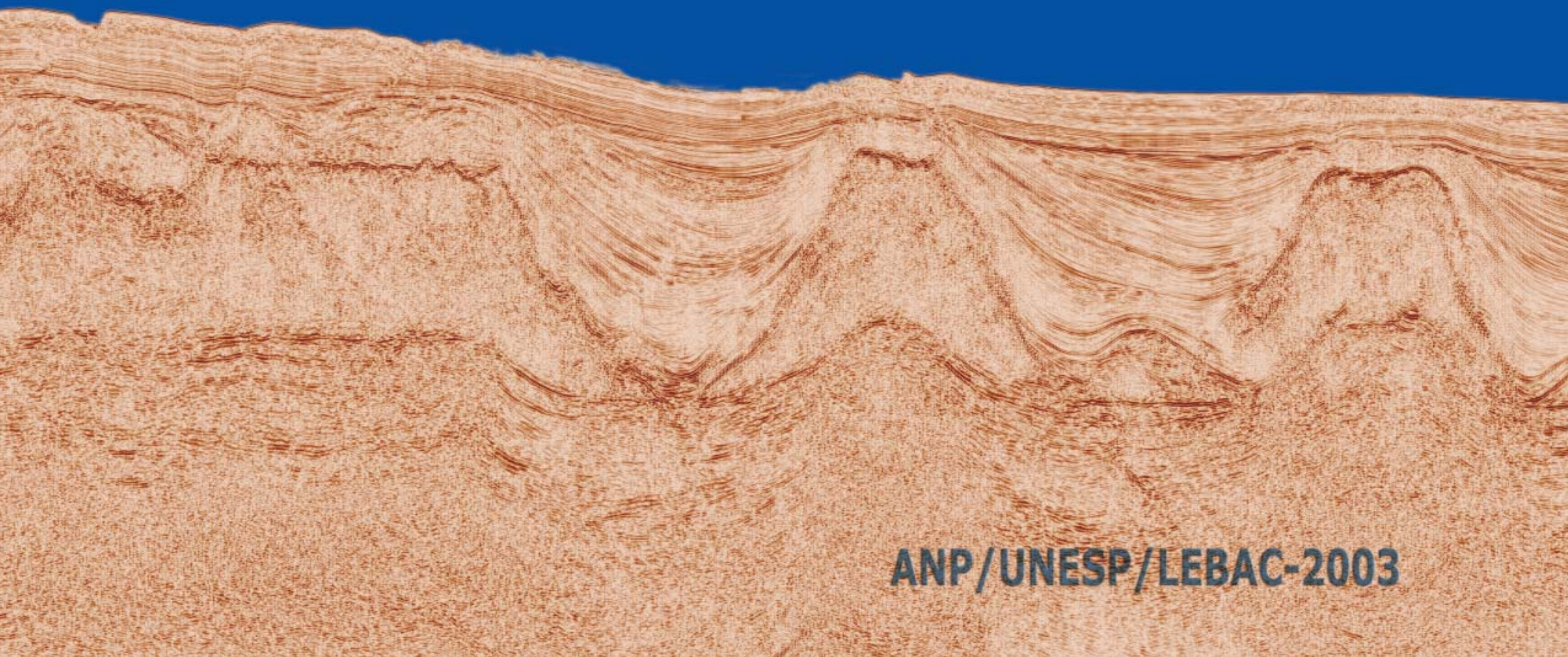


Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da

Bacia de Santos

Tomo 1



ANP/UNESP/LEBAC-2003

- Apresentação
- Capítulo 1: Introdução
- Capítulo 2: Geologia Regional
- Capítulo 3: Arcabouço Estratigráfico
- Capítulo 4: Arcabouço Estrutural
- Capítulo 5: Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos
- Capítulo 6: Conclusões e Recomendações
- Bibliografia
- Índice de figuras e tabelas



Apresentação

Em 15 de outubro de 2001, foi celebrado contrato entre a Agência Nacional do Petróleo - ANP e a Universidade Estadual Paulista - UNESP para executar projeto intitulado “Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos”, através do estudo das rochas – geradora, reservatório e selante – e das trapas, que constituem os elementos essenciais do sistema petrolífero, bem como da análise dos mecanismos que inter-relacionam estes elementos, visando entender a origem e a evolução das acumulações de óleo e gás e o potencial exploratório da bacia. O estudo foi efetuado no Laboratório de Estudos de Bacia - LEBAC, pertencente ao Departamento de Geologia Aplicada - DGA, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, cujo início efetivo de atividades deu-se em março de 2002 com o recebimento de dados geofísicos e de poços.

A base de dados utilizada no estudo consistiu em: a) 71 mil km de linhas sísmicas 2D; b) 57 mil km de levantamento gravimétrico; c) 225 mil km de levantamento magnetométrico, cuja porção terrestre foi cedida pela CPRM; d) 14 cenas inteiras do satélite Landsat TM7; e) 145 poços, sendo 103 localizados na Bacia de Santos, 39 na Bacia de Campos e 3 na de Pelotas.

A plataforma de interpretação sísmica e de tratamento de perfis geofísicos utilizada foi o pacote Geoframe (IESX, WellEdit, GeoViz, InDepth, Synthetics) da Geoquest-Schlumberger. O processamento e a interpretação de dados gravimétricos e magnetométricos foram efetuados com o uso do *software* Oasis Montaj da Geosoft, com integração de imagens de satélite e de mapas geológicos através da utilização do *software* ER-Mapper. O balanceamento de seções geológicas foi efetuado utilizando-se o *software* 2D e 3D Move da Midland Valley. Para a modelagem geoquímica foi utilizado o pacote BasinMod 1D e 2D da Platte River.

Para o tratamento, a visualização e o mapeamento de atributos geofísicos, geológicos e geoquímicos foram utilizados, além dos pacotes mencionados, os *softwares* Surfer 8, Favoil, Analito e GOCAD.

A apresentação dos resultados foi dividida em 3 tomos: o primeiro, Tomo 1, referente a este volume, sintetiza os principais resultados alcançados ao longo de 18 meses de atividades; o segundo, Tomo 2, apresenta de forma mais detalhada as etapas intermediárias e os métodos aplicados; o Tomo 3 constitui essencialmente o volume de anexos, onde são apresentados mapas e seções em escalas ampliadas.

Autores

D.Sc. Alexandre Campana Vidal
(Geoquímico – FUNDUNESP/LEBAC)

PhD. Chang, Hung Kiang
(Geólogo/Coordenador – UNESP/IGCE/DGA/LEBAC)

M.Sc. Fernando Santos Corrêa
(Geólogo – FUNDUNESP/LEBAC)

D.Sc. Flávio Luis Fernandes
(Geólogo – FUNDUNESP/LEBAC)

D.Sc. Joel Carneiro de Castro
(Geólogo – UNESP/IGCE/DGA)

M.Sc. Júlio Setsuo Tinen
(Geofísico – FUNDUNESP/LEBAC)

D.Sc. Luzia Koike
(Química – Unicamp/IQ)

D.Sc. Mario Luis Assine
(Geólogo – UNESP/IGCE/DGA)

D.Sc. Sidnei Pires Rostirolla
(Geólogo – UFPR/SCT)

Revisores

B.Sc. Eduardo de Mio
(Mestrando – UNESP/IGCE)

B.Sc. Flávio de Paula e Silva
(Doutorando – UNESP/IGCE)

D.Sc. Maria Rita Caetano Chang
(Geóloga – UNESP/IGCE/DGA)

Sumário

| | | | |
|---|-----------|---|-----------|
| 1. Introdução | 1 | Formação Camboriú | 36 |
| Introdução | 2 | Formação Guaratiba | 36 |
| Etapas de Desenvolvimento do Projeto | 2 | Formação Ariri | 36 |
| Equipe do Projeto | 5 | Formação Florianópolis | 37 |
| Equipe permanente | 5 | Formação Guarujá | 37 |
| Pesquisadores tempo parcial | 5 | Formação Itanhaém | 37 |
| Consultores | 5 | Formação Santos | 38 |
| Bolsistas | 5 | Formação Juréia | 38 |
| 2. Geologia Regional | 6 | Formação Itajaí-Açu | 38 |
| Introdução | 7 | Formação Iguape | 38 |
| Geodinâmica da Margem | 9 | Formação Marambaia | 39 |
| Cinemática e Cronologia da Ruptura Continental | 10 | Formação Sepetiba | 39 |
| Magmatismo | 14 | Métodos | 39 |
| Idade da Formação Serra Geral | 15 | Sismoestratigrafia | 40 |
| Intumescimento continental | 15 | Correlação estratigráfica | 43 |
| Cronologia no rompimento do Gondwana | 16 | Análise de seqüências | 43 |
| Magmatismo CFB | 16 | Mapas estratigráficos | 45 |
| Basaltos do fundo oceânico | 17 | Seqüências Estratigráficas | 46 |
| Fisiografia do Embasamento Adjacente | 18 | Barremiano / Eo-Aptiano (H0-H1) | 46 |
| Distribuição das Principais Drenagens | 18 | Neo-Aptiano / Eo-Albiano (H1-H2) | 46 |
| Denudação (a partir de traços de fissão de apatita) | 19 | Eo-Albiano (H2-H3) | 58 |
| Modelo de denudação para a Bacia de Santos | 20 | Neo-Albiano (H3-H4) | 60 |
| Embasamento da Bacia de Santos | 22 | Cenomaniano / Eo-Turoniano (H4-H5) | 61 |
| Dados utilizados | 23 | Neo-Turoniano / Eo-Santoniano (H5-H6) | 62 |
| Dados de imagens de satélite Landsat ETM 7 | 23 | Neo-Santoniano/Eo-Campaniano (H6-H7) | 63 |
| Mapas geológicos | 23 | Neo-Campaniano (H7-H7.1) | 64 |
| Dados magnetométricos | 23 | Maastrichtiano (H7.1-H7.2) | 65 |
| Dados gravimétricos | 25 | Paleoceno (H7.2-H8) | 66 |
| Registro na Área Emersa | 27 | Eoceno / Eo-Oligoceno (H8-H8.2) | 67 |
| Análise de dados magnetométricos | 29 | Neo-Oligoceno / Eo-Mioceno (H8.2-H9) | 68 |
| Análise de dados gravimétricos | 32 | Neo-Mioceno / Recente (H-9-H10) | 69 |
| 3. Arcabouço Estratigráfico | 35 | Litoestratigrafia | 70 |
| Introdução | 36 | Evolução Estratigráfica | 73 |
| | | 4. Arcabouço Estrutural | 78 |
| | | Introdução | 79 |
| | | Fase Rifte | 79 |
| | | Mecanismos de rifteamento | 79 |
| | | Estrutura crustal | 80 |
| | | Fases evolutivas do rifteamento | 83 |
| | | Fase sin-rifte I: Neocomiano | 83 |
| | | Fase sin-rifte II: Barremiano | 84 |

Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos

| | |
|--|-----|
| Fase sin-rifte III: Eo-Aptiano | 85 |
| Compartimentação estrutural rifte da Bacia de Santos | 86 |
| Gravimetria na determinação das calhas rifte | 86 |
| Compartimentação Estrutural | 88 |
| Sub-Bacia Sul (embaçamento sul) | 88 |
| Sub-Bacia Norte (embaçamento norte) | 91 |
| Limite entre as Sub-Bacias Sul e Norte (Zona de Transferência Central) | 91 |
| Fase Pós-Rifte | 94 |
| Halocinese | 94 |
| Principais feições fisiográficas regionais | 94 |
| Distribuição e origem dos depósitos evaporíticos na Bacia de Santos | 94 |
| Compartimentação dos depósitos de evaporitos | 95 |
| Província de evaporitos sul | 99 |
| Província de evaporitos norte | 99 |
| Muralha central de Merluza | 102 |
| Zona de fuga de sal sul | 103 |
| Zona de fuga de sal norte | 104 |
| Mapa do Topo do Maastrichtiano (H-7.2) - Limite Cretáceo-Terciário | 104 |
| Restauração de Seções Geológicas | 110 |
| Método de restauração de seções geológicas (RSG) | 110 |
| O que é uma seção geológica balanceada? | 112 |
| Processos de deformação x transformações geométricas | 113 |
| Utilização do método de restauração de seções geológicas da seção geológica 7, região central da Bacia de Santos | 114 |
| Dados de entrada | 114 |
| Parâmetros de porosidade | 116 |
| Conversão tempo / profundidade | 116 |
| Processo de restauração da seção 7 - Descrição da Seção 7 | 116 |
| Seção restaurada para o tempo Meso-Mioceno (H9 - 12 Ma.) | 119 |
| Seção restaurada para o tempo Maastrichtiano (H7.2 - 65 Ma.) | 119 |
| Seção restaurada para o tempo Campaniano (H7.1 - 74 Ma.) | 119 |
| Seção restaurada para o tempo Santoniano (H7 - 84 Ma.) | 119 |
| Seção restaurada para o tempo Coniaciano (H6 - 87 Ma.) | 119 |
| Seção restaurada para o tempo Neo-albiano (H4 - 98 Ma.) | 119 |
| Seção restaurada para o tempo Meso-Albiano (H3 - 106 Ma.) | 119 |
| Seção restaurada para o tempo Aptiano (H2 - 112 Ma.) | 119 |
| Seção restaurada para o tempo Barremiano/Eo-Aptiano (H1 - 118 Ma.) | 120 |
| Seção restaurada para o tempo Hauteriviano (H0 - 130 Ma.) | 120 |
| Discussão | 120 |
| Estilos Estruturais | 121 |
| Estilos estruturais na seção pós-rifte | 121 |
| Família de falhas distensivas simétricas | 121 |
| Família de falhas distensivas assimétricas | 123 |

| | |
|---|-----|
| Família de falhas compressivas | 125 |
| Família de falhas com rejeito direcional | 125 |
| Solda (WELDS) | 125 |
| Mini-bacias | 128 |
| Tectônica de blocos flutuantes (raft tectonics) | 128 |
| Estilos estruturais da seção rifte | 129 |

5. Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos "Implicações Exploratórias" 130

| | |
|--|-----|
| Introdução | 131 |
| Sistemas Petrolíferos | 131 |
| Rocha geradora | 131 |
| Rocha reservatório e selo | 134 |
| Rochas carbonáticas da Formação Guarujá | 134 |
| Reservatórios siliciclásticos | 135 |
| Selos | 136 |
| Trapas | 137 |
| Geração e expulsão | 137 |
| Migração e acumulação | 141 |
| Sincronismo | 141 |
| Plays Exploratórios | 141 |
| Play Guarujá (carbonatos de água rasa) | 141 |
| Play Ilhabela (arenitos turbidíticos neoturoniano/eosantoniano) | 142 |
| Play Cretáceo Superior (arenitos turbiditos maastrichtiano/campaniano) | 142 |
| Play Marambaia (arenitos turbiditos terciários) | 142 |
| Play rifte | 143 |
| Análise de Favorabilidade | 144 |
| Método estatístico | 144 |
| Resultados | 146 |
| Estimativa de Reservas | 158 |
| Estimativa de reservas USGS (2000) | 158 |
| Estimativa de reserva BasinMod 1D e BasinMod Risk | 158 |

6. Conclusões e Recomendações 161

Referências Bibliográficas 165

Índice de Figuras

1. Introdução 1

Figura 1.1 - Fluxograma de operações visando a interpretação e o mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos 4

2. Geologia Regional 6

Figura 2.1 - Seções geológicas de bacias meso-cenozóicas ao longo da margem leste brasileira.. 8

Figura 2.2 - Reconstrução do Atlântico Sul ao tempo da anomalia M4, logo após o início da formação de crosta oceânica. 9

Figura 2.3 - Configuração atual do Atlântico Sul, mostrando as cadeias vulcânicas de Rio Grande e Walvis 10

Figura 2.4 - Seções sísmicas profundas ao longo da Bacia de Santos e Namíbia, mostrando a distribuição dos sedimentos pós-rifte e as vulcânicas relacionadas à abertura continental .. 10

Figura 2.5 - Fisiografia atual da porção da margem que engloba a Bacia de Santos 11

Figura 2.6 - Mapa do Atlântico Sul e continentes adjacentes, mostrando anomalias gravimétricas obtidas por altimetria de satélite 11

Figura 2.7 - Reconstrução da abertura do Atlântico Sul, do Eo-Cretáceo (130 Ma) ao Campaniano (80 Ma), mostrando a configuração dos continentes, os pólos de rotação e os vetores de movimentos das placas..... 12

Figura 2.8 - Posição atual do eixo de espalhamento nas latitudes das Cadeias de Walvis e Rio Grande, com indicação das zonas de fratura oceânicas e do traço do *hot spot* de Tristão da Cunha 13

Figura 2.9 - Traços de pontos quentes nos oceanos Atlântico Sul e Índico, com indicação dos locais de registro do magmatismo de ilhas oceânicas 13

Figura 2.10 - Seções esquemáticas ao longo de sistemas rifte com predomínio de propagação de megafaturas e domeamento associado à pluma do manto. 13

Figura 2.11 - Margens estreitas e largas ao longo do Oceano Atlântico Sul, com distribuição de rochas vulcânicas de idade mesozóica, associadas com o rifteamento. 14

Figura 2.12 - Relações entre o magmatismo, rifteamento e a pluma de Tristão, em 137, 132, 126 e 38 Ma. 15

Figura 2.13 - Esquema da interação da pluma do manto com a litosfera 16

Figura 2.14. Sumário dos principais episódios de magmatismo e rifteamento associados ao rompimento do Gondwana e à deriva dos continentes formados 17

Figura 2.15 - Mapa topográfico a partir dos dados do GTOPO 30" (USGS) da porção sul-sudeste do Brasil adjacente à Bacia de Santos, mostrando a localização das amostras de traços de fissão de apatita no continente. 20

Figura 2.16 - Histogramas das idades de exumação provindos do método de traços de fissão de apatita. 21

Figura 2.17 - Modelo esquemático da denudação por recuo de escarpa admitido para a margem continental da Bacia de Santos 21

Figura 2.18 - Mapa das principais províncias estruturais da fase rifte nas Bacias de Campos e Santos. 22

Figura 2.19 - Mapa de anomalias gravimétricas das Bacias de Campos e Santos. 23

Figura 2.20 - Mosaico de imagens de satélite da porção centro-sul do embasamento adjacente à Bacia de Santos - região de Santa Catarina, Paraná e São Paulo. 23

Figura 2.21 - Mosaico dos mapas geológicos dos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo, na escala 1:500.000. 24

Figura 2.22 - Mapa magnetométrico resultante da composição dos diversos levantamentos fornecidos pela CPRM e ANP. 25

Figura 2.23 - Mapa gravimétrico Bouguer filtrado, utilizando como dado original o levantamento realizado pelo satélite GEOSAT 25

Figura 2.24 - Integração de dados de satélite Landsat 7 e dados geológicos. 26

Figura 2.25 - Porção sul do litoral de São Paulo, região de Iguape, apresentando ao fundo o mapa geológico, sobreposto pelo mapa aeromagnetométrico. 26

Figura 2.26 - Mapa tectônico simplificado da Plataforma Sul-Americana 27

Figura 2.27 - Trecho da seção sísmica 0241-454 (embaiamento norte) que mostra o inter-relacionamento de uma falha da seção rifte com uma falha lítrica associada à halocinese. . 28

Figura 2.28 - Mapa geológico simplificado dos terrenos entre as faixas Ribeira e Dom Feliciano, Paraná e Santa Catarina 29

Figura 2.29 - Mapa magnético residual com lineamentos interpretados. 30

Figura 2.30 - Mapa magnético reduzido ao pólo com lineamentos interpretados. 31

Figura 2.31 - Mapa gravimétrico Bouguer com base em dados do satélite GeoSat. 32

Figura 2.32 - Mapa gravimétrico Bouguer com base em levantamentos gravimétricos terrestres e marítimos. 32

Figura 2.33- Mapa gravimétrico Bouguer residual (passa-alta 60 km) com base em levantamentos gravimétricos terrestres e marítimos. 33

Figura 2.34 - Mapa do topo dos evaporitos. 33

Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos

Figura 2.35 – Mapa estrutural de síntese, com indicação das feições estruturais da parte continental adjacente à Bacia de Santos e interpretação simplificada das estruturas presentes no embasamento 34

3. Arcabouço Estratigráfico 35

| |
|--|
| Figura 3.1 - Carta estratigráfica da Bacia de Santos 36 |
| Figura 3.2 - Perfil-tipo da Formação Camboriú 37 |
| Figura 3.3 - Perfil-tipo da Formação Guaratiba 37 |
| Figura 3.4 - Perfil-tipo da Formação Ariri 37 |
| Figura 3.5 - Perfil-tipo da Formação Florianópolis 37 |
| Figura 3.6 - Perfil-tipo da Formação Guarujá 38 |
| Figura 3.7 - Perfil-tipo da Formação Itanhaém 38 |
| Figura 3.8 - Perfil-tipo da Formação Santos 38 |
| Figura 3.9 - Perfil-tipo da Formação Juréia 38 |
| Figura 3.10 - Perfil-tipo da Formação Itajaí-Açu 39 |
| Figura 3.11 - Perfil-tipo da Formação Iguape 39 |
| Figura 3.12 - Perfil-tipo da Formação Marambaia 39 |
| Figura 3.13 - Perfil-tipo da Formação Sepetiba 39 |
| Figura 3.14 - Seção sismoestratigráfica esquemática, com indicação dos horizontes H0 a H10 40 |
| Figura 3.15 - Geometria de refletores e padrões de terminação estratal utilizados como critérios para identificação de desconformidades. 41 |
| Figura 3.16 - Mapa de localização das seções sísmicas das figuras apresentadas neste capítulo 42 |
| Figura 3.17 - Seção de correlação na direção de mergulho deposicional. 44 |
| Figura 3.18 - Seqüências deposicionais consideradas neste trabalho. 45 |
| Figura 3.19 - Seção sísmica interpretada nº 1 (linhas 05-247-0007 e 04-248-0092), parte sul da bacia. 47 |
| Figura 3.20 - Seção sísmica interpretada nº 2 (linha 04-248-0080), parte sul da bacia. 48 |
| Figura 3.21 - Seção sísmica interpretada nº 3 (linhas 04-248-0070 e 09-231-1286), parte sul da bacia. 49 |
| Figura 3.22 - Seção sísmica interpretada nº 4 (linha 04-248-0052), parte sul da bacia. 50 |
| Figura 3.23 - Seção sísmica interpretada nº 5 (linhas 04-248-0038 e 19-222-0125), parte central da bacia. 51 |
| Figura 3.24 - Seção sísmica interpretada nº 6 (linhas 07-247-0068, 21-209-0028 e 04-248-0029), parte central da bacia. 52 |

| |
|---|
| Figura 3.25 - Seção sísmica interpretada nº 7 (linhas 04-248-0019, 02-241-0454 e 04-248-0020), parte central da bacia. 53 |
| Figura 3.26 - Seção sísmica interpretada nº 8 (linha 18-222-0107), parte norte da bacia. 54 |
| Figura 3.27 - Seção sísmica interpretada nº 9 (linhas 18-222-0102 e 04-248-0002), parte norte da bacia. 55 |
| Figura 3.28 - Seção sísmica interpretada nº 10 (linha 16-228-3708), parte norte da bacia. 56 |
| Figura 3.29 - Seção geológica <i>strike</i> da Bacia de Santos, mostrando as correlações estratigráficas da seção pós-evaporítica. 57 |
| Figura 3.30 - Seqüência rifte no poço 1-SPS-003 58 |
| Figura 3.31 - Evaporitos: A - Mapa do topo do sal; B - Domo adjacente à calha central; C - Muralhas no talude continental; D - Muralhas de sal em águas profundas. 59 |
| Figura 3.32 - Formação Guarujá: A) Aspectos entre os campos de Coral e Caravelas; B) Terminação do carbonato na rampa da bacia. 60 |
| Figura 3.33 - Espessamento da Formação Itanhaém para oeste. 60 |
| Figura 3.34 - Curva eustática em <i>onlap</i> costeiro 61 |
| Figura 3.35 - Seqüência Cenomaniano / Eo-Turoniano (H4 - H5) 61 |
| Figura 3.36 - Turbiditos Ilhabela: A) em corpos associados às clinoformas se encontram afetados por deformação halocinética; B) padrão em caixa dos arenitos em perfis de raios-gama ... 62 |
| Figura 3.37 - Neo-Santoniano/Eo-Campaniano (H6-H7): Agradação com acunhamento e <i>onlap</i> costeiro (OL) para oeste, o que indica nível relativo do mar subindo. 63 |
| Figura 3.38 - Clinoformas progradantes do Campaniano. 64 |
| Figura 3.39 - Turbiditos de idade campaniana no poço 1-RJS-539 64 |
| Figura 3.40 - Clinoformas progradantes de sistemas deltaicos do Maastrichtiano. 65 |
| Figura 3.41 - Turbiditos de mar baixo. 66 |
| Figura 3.42 - Padrão em <i>onlap</i> da seqüência do Paleoceno 66 |
| Figura 3.43 - Progradações deltaicas eocênicas na parte norte da bacia. 67 |
| Figura 3.44 - <i>Onlap</i> costeiro de estratos eocênicos sobre relevo aplainado no embasamento pré-cambriano, onde podem estar presentes relevos residuais (<i>inselbergs</i>). 67 |
| Figura 3.45 - Fácies de água profunda (fluxos de gravidade) abaixo e na terminação das clinoformas das cunhas clásticas do Neo-Oligoceno. 68 |
| Figura 3.46 - Deltas de mar alto do Eo-Mioceno, correspondente à seção com granocrescência ascendente observada no intervalo 1750 a 1900m no poço 1-SCS-0001. 68 |

Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos

| | |
|---|-----|
| Figura 3.47 - Plataforma carbonática Iguape. | 69 |
| Figura 3.48 - Leques de assoalho e de talude, subjacentes a sistemas deltaicos de mar baixo da seqüência neo-miocênico/recente. | 69 |
| Figura 3.49 - Superfície de discordância H9, em águas profundas. | 70 |
| Figura 3.50 - Seção de correlação na direção de mergulho deposicional, na parte sul da bacia, com destaque para o diacronismo das formações Santos/Juréia, especialmente no seu topo. | 71 |
| Figura 3.51 - Seção de correlação na direção de mergulho deposicional, na parte norte da bacia, com destaque para o ocorrência das formações Santos/Juréia. | 72 |
| Figura 3.52 - Seqüências rifte em seções sísmicas | 73 |
| Figura 3.53 - Turbiditos Ilhabela na calha central da bacia. | 74 |
| Figura 3.54 - Intrusivas e vulcânicas da Bacia de Santos. | 75 |
| Figura 3.55 - Mapa de isópacas das seqüências neocretáceas, onde se observa a migração dos depocentros no rumo norte. | 76 |
| 4. Arcabouço Estrutural 78 | |
| Figura 4.1 - Estágios de rifteamento inferidos para a porção sul do rifte sul atlântico | 80 |
| Figura 4.2 - Seção crustal situada na porção sul da Bacia de Santos gerada a partir de modelagem gravimétrica/magnetométrica. | 81 |
| Figura 4.3 - Estrutura crustal da Bacia de Santos na região do Platô de São Paulo | 82 |
| Figura 4.4 - Mapa topográfico da área continental adjacente à Bacia de Santos, mostrando valores de espessura crustal, calculados utilizando a função do receptor | 82 |
| Figura 4.5 - Comparação das fases evolutivas de ruptura continental. | 83 |
| Figura 4.6 - Assinatura magnética da zona de charneira da Bacia de Santos. | 85 |
| Figura 4.7 - Seção sísmica na região de águas profundas da bacia, mostrando as 3 fases descritas na seção rifte (I, II, III). | 86 |
| Figura 4.8 - Mapa de anomalia Bouguer simples derivado de dados de satélite (Geosat), com aplicação de filtro polinomial de 3ª ordem | 87 |
| Figura 4.9 - Mapa de anomalia Bouguer simples derivado de dados de levantamento marítimo, com aplicação de filtro passa-alta de 60 km | 89 |
| Figura 4.10 - Mapa estrutural da seção superior da fase rifte | 90 |
| Figura 4.11 - Principais feições estruturais da Bacia de Santos | 91 |
| Figura 4.12 - Mapa de isópacas da seção superior da fase rifte | 92 |
| Figura 4.13 - Detalhe da Sub-Bacia Sul, mostrando as terminações das falhas da seção rifte, associadas aos lineamentos NW, interpretados a partir dos dados de magnetometria. | 93 |
| Figura 4.14 - Detalhe da Sub-Bacia Norte, mostrando as terminações das falhas da seção rifte, associadas aos lineamentos NW, interpretados a partir dos dados de magnetometria | 93 |
| Fig. 4.15 - Principais aspectos fisiográficos regionais na área da Bacia de Santos | 95 |
| Figura 4.16 - Mapa do limite sul da Bacia Evaporítica do Atlântico Sul | 95 |
| Figura 4.17 - Mapa de contorno estrutural do topo da seqüência evaporítica das bacias de Campos e Santos. | 96 |
| Figura 4.18 - Mapa do topo da seqüência evaporítica da Bacia de Santos | 97 |
| Figura 4.19 - Mapa das províncias de sal propostas neste projeto. | 98 |
| Figura 4.20 - Modelo 3D do topo da seqüência evaporítica da Bacia de Santos, com visada para NNW (tempo sísmico duplo). | 99 |
| Figura 4.21 - Modelo 3D do topo da seqüência evaporítica da Bacia de Santos, focalizando a Província de Evaporitos Sul, com visada para NNE (tempo sísmico duplo). | 99 |
| Figura 4.22 - Seção sísmica (248-075), mostrando a área sul da Bacia de Santos e suas províncias. | 100 |
| Figura 4.23 - Seção sísmica composta (231-647;248-015), mostrando a área norte da Bacia de Santos e suas províncias. | 101 |
| Figura 4.24 - Modelo 3D do topo da seqüência evaporítica da Bacia de Santos, focalizando a Província de Evaporitos Norte, com visada para ENE (tempo sísmico duplo). | 102 |
| Figura 4.25 - Modelo 3D do topo da seqüência evaporítica da Bacia de Santos, focalizando a Muralha Central de Merluza, com visada para NE (tempo sísmico duplo). | 102 |
| Figura 4.26 - Seção sísmica composta (247-081;241-458;248-021), mostrando a área norte da Bacia de Santos e a relação entre um grande diápiro isolado e o alto do embasamento adjacente. | 103 |
| Figura 4.27 - Mapa estrutural em tempo sísmico do horizonte topo do Maastrichtiano (Horizonte H7.2 - limite K-T) | 105 |
| Figura 4.28 - Carta estratigráfica da Bacia de Santos - horizontes mapeados | 106 |
| Figura 4.29 - Seção sísmica (248-074) mostrando o aspecto geral da porção sul da Bacia de Santos | 107 |
| Figura 4.30 - Seção sísmica 248-007 mostrando o <i>trend</i> de falhas de Cabo Frio, na porção norte da bacia | 108 |
| Figura 4.31 - Seção sísmica composta (248-019; 241-454; 248-020) mostrando o relacionamento entre o diápiro isolado e a falha do embasamento | 109 |
| Figura 4.32 - Mapa de localização da seção geológica 7. | 110 |
| Figura 4.33 - Estilo estrutural e localização da superfície de descolamento tectônico em seção geológica característica de cinturões compressivos. | 110 |
| Figura 4.34 - Restauração de uma seção geológica até o estado pré-deformacional da camada azul. | 111 |

Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos

| | |
|---|-----|
| Figura 4.35 - Seções restauradas (b e c) mostrando incoerências na interpretação geológica da seção original (a) | 111 |
| Figura 4.36 - Modelo tridimensional de um diápiro de sal, formado durante processo de diapirismo reativo, ativo e passivo. | 111 |
| Figura 4.37 - Esquema mostrando os passos básicos durante a restauração de uma seção geológica hipotética. | 113 |
| Figura 4.38 - Evolução de dobras de <i>rollover</i> acima de falhas lítricas. | 114 |
| Figura 4.39 - Seção sísmica LD7 interpretada, localizada na porção central da Bacia de Santos. ... | 115 |
| Figura 4.40 - Seção geológica 7 resultante da conversão tempo-profundidade das seções sísmicas 248-0019, 241-0454 e 248-0020 | 117 |
| Figura 4.41- Modelo 3D do topo da seqüência evaporítica da Bacia de Santos, focalizando o diápiro isolado na porção oeste da seção 7, com visada para NE..... | 117 |
| Figura 4.42 - Seções geológicas evolutivas, mostrando o processo de restauração da seção geológica 7, região central da Bacia de Santos..... | 118 |
| Figura 4.43 - Tipos principais de estruturas halocinéticas | 121 |
| Figura 4.44 - Trecho da seção sísmica 248-048 mostrando <i>graben</i> formado por falhas periféricas | 122 |
| Figura 4.45 - Trecho da seção sísmica 248-068 mostrando família de falhas de crista. | 122 |
| Figura 4.46 - Trecho da seção sísmica 222-103 mostrando família de falhas de tipo <i>Keystone</i> (Cúpula)..... | 123 |
| Figura 4.47 - Trecho da seção sísmica 248-059 mostrando família de falhas de tipo <i>Roller</i> | 123 |
| Figura 4.48 - Trecho da seção sísmica 222-103 mostrando família de falhas antitéticas. | 124 |
| Figura 4.49 - Trecho da seção sísmica 248-020 mostrando família de falhas tipo <i>Rollover</i> , associadas a uma falha principal lítrica antitética. | 124 |
| Figura 4.50 - Trecho da seção sísmica 248-023 mostrando família de falhas tipo <i>Toe-Thrust</i> , localizada na região de águas profundas da Bacia de Santos. | 125 |
| Figura 4.51 - Trecho da seção sísmica 248-011 mostrando situação de solda primária (<i>Weld</i>), associada à Zona de Falha de Cabo Frio. | 125 |
| Figura 4.52 - Seção geológica esquemática mostrando o posicionamento dos bloco-diagramas das figuras 4.10 a 4.14, com suas respectivas estruturas. | 126 |
| Figura 4.53 - Bloco diagrama esquemático mostrando as famílias de falhas típicas associadas a uma camada de evaporitos autóctone. | 126 |
| Figura 4.54 - Bloco diagrama esquemático mostrando as famílias de falhas típicas associadas a uma camada de evaporitos alóctone. | 126 |
| Figura 4.55 - Bloco diagrama esquemático mostrando as famílias de falhas típicas associadas sistema de falhas tipo Roho. | 127 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.56 - Bloco diagrama esquemático mostrando as famílias de falhas típicas associadas a um sistema alóctone tipo <i>Canopy</i> | 127 |
| Figura 4.57 - Bloco diagrama esquemático mostrando as famílias de falhas típicas associadas a um sistema alóctone, tipo <i>Nappe</i> , avançando sobre a planície abissal. | 127 |
| Figura 4.58 - Trecho da seção sísmica 248-114 mostrando feições de mini-bacias na região de águas profundas da Bacia de Santos. | 128 |
| Figura 4.59 - Tectônica de blocos flutuantes durante distensão. | 128 |
| Figura 4.61 - Trecho de seção sísmica na região norte da Bacia de Santos (região do Alto de Cabo Frio), mostrando os estilos de estruturação da fase rifte (I, II, III). | 129 |
| Figura 4.62 - Trecho de seção sísmica na região central da Bacia de Santos, mostrando os estilos de estruturação da fase rifte (I, II, III). | 129 |
| Figura 4.63 - Trecho de seção sísmica na região sul da Bacia de Santos, mostrando os estilos de estruturação da fase rifte (I, II, III). | 129 |

5. Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos e Implicações Exploratórias..... 130

| | |
|---|-----|
| Figura 5.1 - Mapa de localização das amostras de óleo | 132 |
| Figura 5.2 - Gráfico de correlação entre Tricíclicos | 132 |
| Figura 5.3 - Gráfico de correlação entre Tricíclicos e Hopanoesterano | 132 |
| Figura 5.4 - Gráfico de correlação entre Tricíclicos e Pentacíclicos | 132 |
| Figura 5.5 - Perfil geoquímico da Formação Lagoa Feia (Cretáceo Inferior) | 133 |
| Figura 5.6 - Perfil geoquímico do poço 1PRS-003 | 133 |
| Figura 5.7 - Diagrama de Van Krevelen referente às amostras da Formação Itajaí-Açu. | 134 |
| Figura 5.8 - Mapa de localização dos dois grupos de poços tratados com perfil de densidade | 135 |
| Figura 5.9 - Histogramas de porosidade representados por logaritmo neperiano da porosidade obtida de perfis de densidade, referentes aos grupos de poços I e II, da Formação Guarujá..... | 135 |
| Figura 5.10 - Distribuição de porosidade com profundidade, de calcarenitos da Formação Guarujá. | 135 |
| Figura 5.11 - Distribuição dos valores de porosidade (%) dos arenitos turbidíticos do Membro Ilhabela. | 135 |
| Figura 5.12 - Distribuição de porosidade com profundidade, de arenitos turbidíticos Ilhabela | 136 |
| Figura 5.13 - Mapa mostrando a espessura total porosa dos reservatórios turbidíticos do Membro Ilhabela e dos carbonatos de água rasa da Formação Guarujá. | 136 |
| Figura 5.14 - Distribuição de porosidade com profundidade para arenitos não pertencentes ao Membro Ilhabela. | 137 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.15 - Distribuição temporal da maturação. | 137 |
| Figura 5.16 - Mapas de maturidade da Formação Itajaí-Açu em tempos geológicos selecionados. | 138 |
| Figura 5.17 - Mapas de maturidade do topo da Formação Guaratiba em tempos geológicos selecionados. | 139 |
| Figura 5.18 - Carta de elementos essenciais e processos do Sistema Petrolífero Guaratiba - Guarujá (!). | 140 |
| Figura 5.19 - Carta de elementos essenciais e processos do Sistema Petrolífero Itajaí-Açu e Ilhabela (!) | 140 |
| Figura 5.20 - Seção geológica <i>dip</i> , mostrando o modelo de acumulação do <i>play</i> Guarujá. | 141 |
| Figura 5.21 - Seção geológica <i>dip</i> mostrando modelo de acumulação do <i>play</i> Ilhabela. | 142 |
| Figura 5.22 - Seção geológica <i>dip</i> mostrando modelo de acumulação do <i>play</i> Cretáceo Superior | 142 |
| Figura 5.23 - Seção geológica <i>dip</i> , mostrando o modelo de acumulação do <i>play</i> Marambaia | 143 |
| Figura 5.24 - Seção geológica <i>dip</i> , mostrando o modelo de acumulação do <i>Play</i> Rife | 143 |
| Figura 5.25 - Exemplo de cálculo da favorabilidade | 145 |
| Figura 5.26 - Representação esquemática da seleção, quantificação dos ponderadores e integração das variáveis representativas para cada fator diagnóstico | 146 |
| Figura 5.27 - Histogramas de frequência das variáveis nos poços secos e produtores | 148 |
| Figura 5.28 - Mapa de favorabilidade para o <i>Play</i> Guarujá, Sistema Petrolífero Guaratiba-Guarujá (!). | 151 |
| Figura 5.29 - Mapa de favorabilidade para o <i>Play</i> Ilhabela, Sistema Petrolífero Guaratiba-Guarujá (!). | 152 |
| Figura 5.30- Mapa de favorabilidade para o <i>Play</i> Maastrichtiano, Sistema Petrolífero Guaratiba-Guarujá (!). | 153 |
| Figura 5.31- Mapa de favorabilidade para o <i>Play</i> Maastrichtiano, Sistema Petrolífero Itajaí-Açu - Ilhabela (!). | 154 |
| Figura 5.32- Mapa de favorabilidade para o <i>Play</i> Ilhabela, Sistema Petrolífero Itajaí-Açu - Ilhabela (!). | 155 |
| Figura 5.33 - Superfície de contorno da base atual do sal e restaurada para o Cretáceo Superior... .. | 156 |
| Figura 5.34 - Gráfico comparativo entre as probabilidades Bayesianas obtidas para cada variável, ilustrando a correlação inversa entre as condições de necessidade e suficiência. | 157 |
| Figura 5.35 - Histograma da distribuição dos tamanhos de campos não descobertos de óleo e gás, para o período 2000-2030. | 159 |
| Figura 5.36 - Distribuição de volumes de óleo migrados na Bacia de Santos. | 160 |
| Figura 5.37 - Distribuição de volumes de gás migrados na Bacia de Santos. | 160 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|------------|
| 3. Arcabouço Estratigráfico | 35 |
| Tabela 3.1 - Seqüências deposicionais da Bacia de Santos | 39 |
| Tabela 3.2- Horizontes considerados na análise estratigráfica | 43 |
| 4. Arcabouço Estrutural | 76 |
| Tabela 4.1 - Valores de porosidade inicial e constante de decaimento para a Bacia de Santos utilizados neste trabalho. | 116 |
| Tabela 4.2- Tabela com os valores de velocidade média intervalar utilizados para a conversão Tempo-Profundidade da seção LD7 | 116 |
| Tabela 4.3 - Classificação de famílias de falhas associadas a halocinese. | 121 |
| 5. Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos "Implicações Exploratórias" | 130 |
| Tabela 5.1 - Análises cromatográficas de óleos da Bacia de Santos | 131 |
| Tabela 5.2 - Espessuras e zonas porosas das rochas carbonáticas da Formação Guarujá. | 134 |
| Tabela 5.3 - Espessuras porosas dos turbiditos Ilhabela. | 136 |
| Tabela 5.4 - Resumo dos principais fatores ligados aos <i>plays</i> exploratórios da Bacia de Santos | 143 |
| Tabela 5.5 - Tabela 5.5 - Variáveis selecionadas para cada sub-sistema (alimentação e trapeamento), bem como sua classificação nos fatores geração, migração, reservatório e estrutura. | 147 |
| Tabela 5.6 - Resultado da avaliação de reservas não descobertas na Bacia de Santos, realizada pelo Serviço Geológico Norte-americano. | 158 |
| Tabela 5.7 - Distribuição de probabilidade triangular dos parâmetros utilizados na simulação Monte Carlo para estimativa de volumes de óleo e gás expelidos e migrados na Bacia de Santos. | 159 |
| Tabela 5.8 - Estimativa de volumes de óleo e gás expelidos e migrados na Bacia de Santos. | 159 |