



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Andrés Cesar Gordon

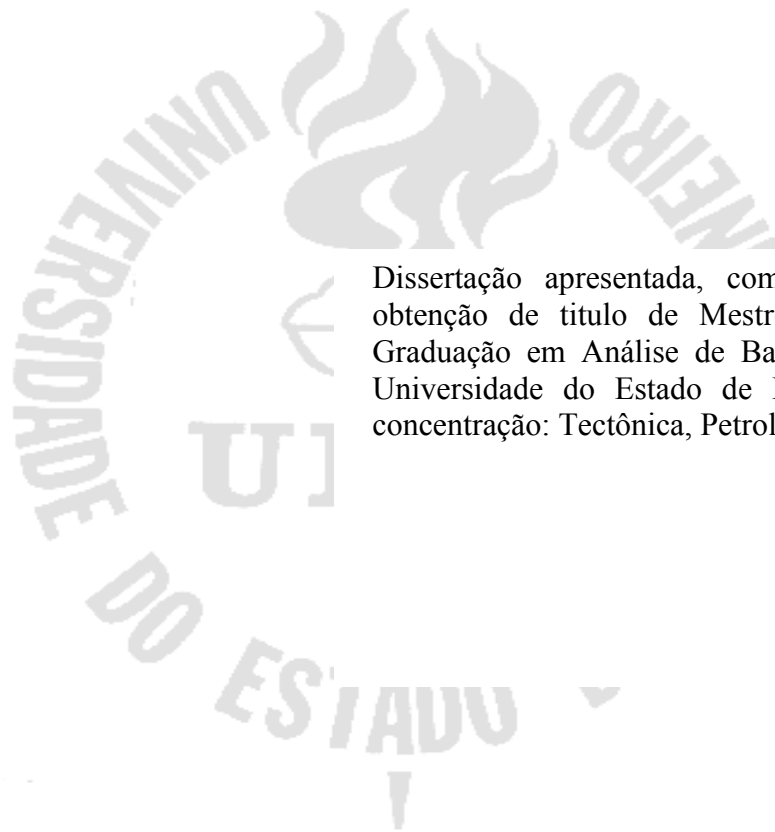
**Arquitetura crustal da Bacia de Almada no contexto das bacias da margem
leste da América do Sul.**

Rio de Janeiro

2011

Andrés Cesar Gordon

Arquitetura crustal da Bacia de Almada no contexto das bacias da margem leste da América do Sul.



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. Webster Mohriak.

Co-orientador: Prof^a. Dr^a. Valeria Barbosa.

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

G662 Gordon, Andrés César.
Arquitetura crustal da Bacia de Almada no contexto das
bacias da margem leste da América do Sul / Andrés César
Gordon. – 2011.
340 f.

Orientador: Webster Mohriak
Co-orientador: Valeria Barbosa.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geologia estrutural – Almada, Rio, Bacia (BA) - Teses. 2.
Magmatismo – Almada, Rio, Bacia (BA) – Teses. 3. Tectonica
de placas – Almada, Rio, Bacia (BA) - Teses. I. Mohriak,
Webster. II. Barbosa, Valeria. III. Universidade do Estado do
Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 551.243(813.8)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

Assinatura

Data

Andrés Cesar Gordon

Arquitetura crustal da Bacia de Almada no contexto das bacias da margem leste da América do Sul.

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais.

Aprovado em 15 de fevereiro de 2011

Banca Examinadora:

Webster Ueipass Mohriak (Orientador)

Faculdade de Geologia da UERJ

Valeria Cristina Barbosa (co-orientador)

Observatório Nacional

Monica Heilbron

Faculdade de Geologia da UERJ

Eliane da Costa Alves

Faculdade de Geologia da UFF

Rio de Janeiro

2011

DEDICATÒRIA



*Hay gente que con sólo decir una palabra
enciende la ilusión y los rosales,
que con sólo sonreír entre los ojos
nos invita a viajar por otras zonas,
nos hace recorrer toda la magia.*

*Hay gente que con sólo dar la mano
rompe la soledad , pone la mesa,
sirve el puchero, coloca las guirnaldas,
que con solo empuñar una guitarra
hace una sinfonía de entre casa.*

*Hay gente que con sólo abrir la boca
llega hasta todos los límites del alma,
alimenta una flor, inventa un sueño,
hace cantar el vino en las tinajas
y se queda después....como si nada.*

*Y uno... uno se va, de novio con la vida,
desterrando la muerte solitaria,
porque sabe que a la vuelta de la esquina
hay gente que es así, como vos,
tan necesaria.*

Hamlet Lima Quintana

A Guillermina Bidegain de Gordon e Adolfo Gordon (*in memòria*)

AGRADECIMENTOS

A aqueles, que como fala a poesia acima, são tão necessários: Pablo, Teresa e Américo Aguirre; Athina e Apolo; Eduardo, Guillermo e Adolfo Gordon; Guilhermina Bidegain; Carlos Novara; Guillermo Novomisky; Pablo Triana; Pili Fourcat; Maria e Isabel Palermo; Liliana Lavorato; Sergio Masardi, Irene Gehbard, Fernando Nicolas, Roberto Caligari, Claudia Borbolla, Magu Mazocatto, Leto Cugliandolo, Aisgo Oguru.

A “El Paso Oleo e Gas do Brasil” pelo constante apoio nos projetos encarados e a os amigos da El Paso: Manuela Souza Amaral, Ric Barton, Andre Freitas, Antonio Tisi, Dario Chiosi, Gabriele Silva, Ronaldo Baldi, Ronaldo Alves, Denise Amorim, Enrique Peralta, Fatima Ribeiro, Aida Lima, Flor de Lis Almeida , Penha Santos, Perry Morris, Luty Mora, Jose Ruiz, entre tantos outros.

Aos meus diretores: Webster e Valeria pelo apoio incondicional, por toda a paciência e pelo conhecimento transmitido.

As companhias e instituições que forneceram desinteressadamente os dados que permitiram desenvolver esta pesquisa: ANP, Marinha do Brasil e PGS petrolífera do Brasil. E a todos eles que contribuíram com este trabalho.

RESUMO

GORDON, Andrés César. *Arquitetura crustal da Bacia de Almada no contexto das bacias da margem leste da América do Sul*. 2011. 340 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

A Bacia de Almada, localizada no estado da Bahia, compartilha características similares com as outras bacias da margem leste do Brasil, quando é analisada segundo aspectos como os processos sedimentares e o regime de esforço dominante durante a sua formação. Observa-se uma diferença marcante em relação as outras bacias quando é analisada sob a ótica da composição da crosta transicional, uma vez que não se registra atividade vulcânica durante a fase rifte. A aquisição de um extenso levantamento sísmico 3D, com cabos de 6 km de comprimento e 9.2 segundos de tempo de registro (tempo sísmico duplo), resultaram em imagens sísmicas de boa qualidade das estruturas profundas do rifte. Adicionalmente, estudos de modelagem gravimétrica foram integrados com a análise sísmica para corroborar o modelo geológico. A Bacia de Almada é parte dos sistemas de rifte continentais, desenvolvidos durante o Berriasiano até o Aptiano, que antecederam a quebra do continente do Gondwana, evoluindo posteriormente para uma margem passiva divergente. O processo do rifteamento desenvolveu cinco sub-bacias de orientação NNE-SSO, desde posições terrestres até marinhas profundas, produzindo um arcabouço estrutural complexo. Os perfis da sísmica profunda mostram o afinamento progressivo da crosta continental até espessuras da ordem de 5 km, abaixo da sub-bacia mais oriental, com fatores de estiramento crustal próximo a 7 antes do desenvolvimento de crosta oceânica propriamente dita. As imagens sísmicas de boa qualidade permitem também o reconhecimento de sistemas de falhas lítricas que se iniciam na crosta superior, evoluem atravessando a crosta e conectando as sub-bacias para finalizar em um descolamento horizontal na crosta inferior estratificada. Adicionalmente, a bacia apresenta um perfil assimétrico, compatível com mecanismos de cisalhamento simples. As margens vulcânicas (VM) e não vulcânicas (NVM), são os extremos da análise composicional das margens divergentes continentais. Na Bacia de Almada não se reconhecem os elementos arquiteturais típicos das VM, tais como são as grandes províncias ígneas, caracterizadas por cunhas de refletores que mergulham em direção ao mar e por intenso vulcanismo pré- e sin-rifte nas bacias. Embora a margem divergente do Atlântico Sul seja interpretada tradicionalmente como vulcânica, o segmento do rifte ao sul do Estado da Bahia apresenta características não-vulcânicas, devido à ausência destes elementos arquiteturais e aos resultados obtidos nas perfurações geológicas que eventualmente alcançam a seqüência rifte e embasamento. Regionalmente a margem divergente sul-americana é majoritariamente vulcânica, embora a abundância e a influência do magmatismo contemporâneo ao rifte seja muito variável. Ao longo da margem continental, desde a Bacia Austral no sul da Argentina, até a Bacia de Pernambuco no nordeste do Brasil, podem ser reconhecidos segmentos de caráter vulcânico forte, médio e não vulcânico. Nos exemplos clássicos de margens não vulcânicas, como a margem da Ibéria, a crosta transicional é altamente afinada podendo apresentar evidências de exumação de manto. Na Bacia de Almada, a crosta transicional apresenta importante estiramento embora não haja evidências concretas de exumação de manto. Os mecanismos responsáveis pela geração e intrusão dos grandes volumes de magma registrados nas margens divergentes são ainda sujeitos a intenso debate. Ao longo da margem divergente sul-americana há evidências da presença dos mecanismos genéticos de estiramento litosférico e impacto de plumas. Alternativamente estes dois mecanismos parecem ter tido um papel importante na evolução

tectônica da margem sudeste e sul, diferenciando-as da margem continental onde foi implantada a Bacia de Almada.

Palavras-chave: Bacia de Almada. Arquitetura crustal. Tectônica. Magmatismo. Margem Atlântica.

ABSTRACT

The Almada Basin, located in the Bahia State, shares similar characteristics with other eastern Brazilian basins when analyzed in terms of major sedimentation process and dominant stress regime. However, a remarkably different composition of the transitional crust is observed when this basin is compared with the other eastern Brazilian basins. A large 3D survey, acquired with cable length of 6 km and 9.2 seconds resulted in good seismic images of the rift deep structure. A detailed gravity survey and 2D forward modeling were integrated with the seismic analysis to corroborate the geological model. The Almada Basin is part of the continental rift system that developed during the Berriasian to Aptian times, heralding the Gondwana break up. Subsequently the basin evolved into a passive divergent margin. The rifting process results in five NNE-SSW striking half-graben sub-basins, from onshore to deep water, producing a complex structural framework. Deep seismic profiles reveal the progressive thinning of the continental crust down to 5 km below the easternmost half-graben with a crustal β factor of 7 before the ocean crust developed. The good-quality seismic images also allowed the recognition of major listric faults systems that cut the upper crust, linking the half-grabens and detaching along the layered lower crust. The basin shows an asymmetrical crustal profile compatible with a simple shear rifting mechanism. Volcanic Margins (**VM**) and Non Volcanic Margins (**NVM**) are the end members of the crustal compositional analysis of divergent continental margins. The key architectural elements of the **VM**, such as large igneous provinces, seaward dipping reflectors and the basinal synrift magmatism, are not recognized in the Almada Basin. Even though the South Atlantic divergent margin is traditionally interpreted as a **VM**, particularly in the rift segment south of Bahia State, the lack of these key elements, as well as drilling results, indicate a non volcanic character for the Almada segment. Regionally, the South American divergent margin is mostly volcanic, but the amount and the influence of the magmatism during the rift phase is variable from the southernmost Austral Basin in south Argentina up to the Pernambuco Basin in northeast Brazil. Along the whole continental margin different segments of “strong”, “medium” and “non” volcanic character can be recognized. In the classical **NVM**, the transitional crust is highly stretched and, in some cases, it shows evidence of exhumed sub continental mantle (e.g., Iberian margin). In the Almada Basin, the transitional crust indicates a considerable thinning, but there is no clear evidence of mantle exhumation. The mechanisms responsible for the generation and emplacement of the large amounts of magma recorded in the divergent margins are still subject to discussions. Along the South American segments, both the lithospheric thinning and mantle plume models have been proposed. Alternatively, a combination of these two mechanisms may have played an important role in the margin evolution.

Keywords: Almada Basin. Crustal architecture. Tectonism. Magmatism. Atlantic margin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Carta estratigráfica da Bacia de Camamu.....	24
Figura 2 -	Carta estratigráfica da Bacia de Camamu.....	24
Figura 3 -	Carta estratigráfica da Bacia de Almada	25
Figura 4 -	Carta estratigráfica da Bacia de Almada	26
Figura 5 -	Carta estratigráfica da Bacia de Almada	27
Figura 6 -	Domínio divergente leste sul-americano: segmento margem leste e margem equatorial.....	30
Figura 7 -	Localização e arcabouço estrutural da Bacia de Almada	34
Figura 8 -	Tipo de ondas sísmicas	44
Figura 9 -	Descontinuidades na crosta	44
Figura 10 -	Reflexões subcríticas, críticas e supercríticas do raio sísmico	47
Figura 11 -	Exemplo de perfil sísmico de reflexão de tipo <i>deep seismic profile</i>	48
Figura 12 -	Exemplo de perfil sísmico de reflexão de alto ângulo.....	48
Figura 13 -	Gráfico tempo sísmico versus distância para os raios diretos, refletidos e refratados	49
Figura 14 -	Análise estatístico do número de reflexões por profundidade.....	49
Figura 15 -	Perfil esquemático da variação da gravidade de Bouguer	51
Figura 16 -	Perfil comparativo entre a topografia, a descontinuidade de Moho e anomalia de Bouguer ao longo das placas	51
Figura 17 -	Comparação entre a compensação isostática e a gravidade	52
Figura 18 -	Correlação velocidade meia da onda P e composição petrológica	53
Figura 19 -	Estratigrafia simplificada de ofiolitos comparados com crosta oceânica meia	54
Figura 20 -	Exemplo de Moho elétrica na Alemanha	55
Figura 21 -	Estudos de modelado elétrico (MT) unidimensional no craton Slave ..	56
Figura 22 -	Mapa de espessura crustal	60
Figura 23 -	Moho flexurada nos Himalaia	61
Figura 24 -	Linhas sísmicas profundas de orógenos Paleozóicos	62
Figura 25 -	A Moho nos arcos de margem continental	63
Figura 26 -	Exemplos de linhas sísmicas profundas onde se observam deslocamentos da Moho	64
Figura 27 -	Crosta oceânica típica de centros de espalhamento rápido	66
Figura 28 -	Crosta oceânica típica de centros de espalhamento lento	66
Figura 29 -	Exemplo de Moho dupla	68
Figura 30 -	Velocidades da onda P nos diferentes tipos crustais	71
Figura 31 -	Exemplo de VM e NVM	74
Figura 32 -	Distribuição de províncias magmáticas contemporâneas com o rifte na América do Sul	77
Figura 33 -	Idades das províncias magmáticas continentais	78
Figura 34 -	Exemplos de SDRs no Atlântico Sul. Bacia de Jacuípe	80
Figura 35 -	Exemplos de SDRs no Atlântico Sul. Bacia do Colorado	80
Figura 36 -	Modelos de geração dos SDRs	81
Figura 37 -	β crustal nas NVM e nas VM	84
Figura 38 -	Exemplos de NVM	85
Figura 39 -	Distribuição de idades dos eventos LIPs, SDRs, idade do rifte e do BSRV, ao longo da margem leste de América do Sul	92
Figura 40 -	SDRs na margem leste da América do Sul	96

Figura 41 -	Mapa aeromagnético , Craton de São Francisco e Bacia de Almada ...	97
Figura 42 -	SDRs no offshore da Argentina	98
Figura 43 -	Bacias da margem leste de América do Sul	101
Figura 44 -	Seção geológica de poços ao longo das bacias da margem leste	102
Figura 45 -	Secções de sísmica de refração	106
Figura 46 -	Modelos de rifteamento ativo e passivo	107
Figura 47 -	Modelo de distensão uniforme	115
Figura 48 -	Modelo de distensão não uniforme	115
Figura 49 -	Modelo de cisalhamento simples	119
Figura 50 -	Modelo de cisalhamento simples e puro combinados	119
Figura 51 -	Modelo de cantilever flexural	120
Figura 52 -	Modelo ativo-passivo	120
Figura 53 -	Análise de sensibilidade do modelo homogêneo	123
Figura 54 -	Modelagem numérica de elementos finitos	126
Figura 55 -	Modelagem numérica de elementos finitos	127
Figura 56 -	Distribuição de bacias na margem passiva divergente do Atlântico Sul	131
Figura 57 -	Comparativo de idades na margem	132
Figura 58 -	Linha A	134
Figura 59 -	Reconstrução das placas aos 200 M.a.	135
Figura 60 -	Reconstrução das placas aos 190 M.a.	135
Figura 61 -	Reconstrução das placas aos 180 M.a.	135
Figura 62 -	Reconstrução das placas aos 170 M.a.	135
Figura 63 -	Reconstrução das placas aos 160 M.a.	136
Figura 64 -	Reconstrução das placas aos 150 M.a.	136
Figura 65 -	Reconstrução das placas aos 140 M.a.	136
Figura 66 -	Reconstrução das placas aos 130 M.a.	136
Figura 67 -	Reconstrução das placas aos 120 M.a.	137
Figura 68 -	Reconstrução das placas aos 110 M.a.	137
Figura 69 -	Reconstrução das placas aos 100 M.a.	137
Figura 70 -	Reconstrução das placas aos 80 M.a.	137
Figura 71 -	Reconstrução das placas aos 60 M.a.	138
Figura 72 -	Reconstrução das placas aos 40 M.a.	138
Figura 73 -	Reconstrução das placas aos 20 M.a.	138
Figura 74 -	Reconstrução das placas aos 0 M.a.	138
Figura 75 -	Províncias magmáticas do Karoo e Ferrar.....	139
Figura 76 -	Distribuição de isótopos de Nd e Sm iniciais nas LIPs, nos <i>hotspot</i> , e nos modelos de crosta	143
Figura 77 -	Detalhe da distribuição de isótopos de Nd e Sm iniciais nas LIPs, nos <i>hotspot</i> e nos modelos de crosta	143
Figura 78 -	Linha B, Bacia do Colorado	145
Figura 79 -	Linha C, Bacia de Pelotas	148
Figura 80 -	Mapa batimétrico	149
Figura 81 -	Mapa gravimétrico	149
Figura 82 -	Seção geológica da Bacia de Pelotas	150
Figura 83 -	Linha D, Bacia de Santos	157
Figura 84 -	Linha E, Bacia de Santos.....	158
Figura 85 -	Seção geológica da Bacia de Santos.....	159
Figura 86 -	Seção geológica da Bacia de Campos	159
Figura 87 -	Linha F, Bacia de Campos	160

Figura 88 -	Linha G, Bacia de Espírito Santo	161
Figura 89 -	Linha H, Bacia de Espírito Santo	162
Figura 90 -	Seção geológica da Bacia de Espírito Santo	162
Figura 91 -	Exemplo sísmico do campo de Tupí	163
Figura 92 -	Seção geológica da Bacia de Almada	170
Figura 93 -	Bacia de Jacuípe	172
Figura 94 -	Bacia de Sergipe	173
Figura 95 -	Mapa batimétrico de satélite. Localização dos exemplos sísmicos	174
Figura 96 -	Seções geológicas das Bacias de Sergipe e Alagoas	174
Figura 97 -	Linha sísmica K, Bacia de Pernambuco-Paraíba	177
Figura 98 -	Seção geológica da Bacia de Pernambuco	178
Figura 99 -	Mapa estrutural em profundidade a Moho no Craton de São Francisco	179
Figura 100 -	Mapa estrutural em tempo ao topo da Moho refletiva	180
Figura 101 -	Exemplo sísmico de linhas <i>dip</i> da Bacia de Almada , seção XS-1	181
Figura 102 -	Exemplo sísmico de linhas <i>dip</i> da Bacia de Almada, seção XS-2	182
Figura 103 -	Exemplo sísmico de linha <i>dip</i> da bacia de Almada, seção XS-2	185
Figura 104 -	Exemplo sísmico de linhas <i>dip</i> da Bacia de Almada , seção XS- 3	186
Figura 105 -	Exemplo sísmico de linhas <i>dip</i> da Bacia de Almada , seção XS-4	186
Figura 106 -	Moho gravimétrica (modelagem direta)	187
Figura 107 -	Efeito gravimétrico da Moho segundo a modelagem direta e a comparação com o dado do satélite Grace	188
Figura 108 -	Mapa estrutural em profundidade (m) ao topo da Moho	189
Figura 109 -	Mapa de espessura crustal	190
Figura 110 -	Contexto geológico regional do Craton de São Francisco	192
Figura 111 -	Mapa geológico regional (CPRM)	195
Figura 112 -	Variação de densidades no Craton de São Francisco (análogos)	198
Figura 113 -	Valores de densidades medidos em testemunhos de poços perfurados no estado da Bahia (Petrobras)	199
Figura 114 -	Distribuição de densidades e velocidades da perfilagem de poços no EC	199
Figura 115 -	Mapa de velocidades DIX do EC	200
Figura 116 -	Mapa de distribuição de densidades na modelagem gravimétrica	200
Figura 117 -	Correlação das velocidades DIX e as densidades do modelado gravimétrico no EC	201
Figura 118 -	Estilo estrutural do Craton de São Francisco na vizinhança da Bacia de Almada	203
Figura 119 -	Estilo estrutural da zona de cisalhamento Itabunas-Itajú do Colônia ...	203
Figura 120 -	Mapa aeromagnetométrico	204
Figura 121 -	Mapa aerogamaespectrométrico	205
Figura 122 -	Mapa estrutural em tempo	209
Figura 123 -	Mapa estrutural em profundidade	210
Figura 124 -	Mapa composto aerogamaespectrométrico – sísmico	210
Figura 125 -	Mapa de anomalia de Bouguer e arcabouço estrutural	211
Figura 126 -	Primeira calha deposicional : “Sub bacia de Almada terra”	211
Figura 127 -	Primeira calha deposicional: “sedimentitos da Península do Marauí” ...	211
Figura 128 -	Mapa de anomalia de Bouguer, 1 °, 2 ° e 3 ° Calha deposicional	212
Figura 129 -	Sistema de sub bacias (Calhas) do rifte de Almada	213
Figura 130 -	Primeira calha deposicional : “Sub bacia de Almada Terra”	214
Figura 131 -	Seção XS-2, exemplo das 4° e 5° calhas deposicionais	215

Figura 132 -	Modelagem gravimétrica da XS-2, Exemplos das 4 ° e 5 ° Calha deposicional	215
Figura 133 -	Limites “crosta continental – crosta - oceânica” (COB; mapa da anomalia de Bouguer do satélite GEOSAT)	218
Figura 134 -	Possíveis posicionamentos do COB	219
Figura 135 -	Mapa gravimétrico (THD) e posicionamento das linhas sísmicas do Projeto “Leplac”	222
Figura 136 -	Mapa batimétrico (GEOSAT)	223
Figura 137 -	Linha Leplac 01, Bacia de Jacuípe	224
Figura 138 -	Linha Leplac 02, Bacia de Jacuípe	224
Figura 139 -	Linha Leplac 03, Bacia de Camamu	225
Figura 140 -	Linha Leplac 04, Bacia de Almada	225
Figura 141 -	Linha Leplac 05, Bacia de Jequitinhonha	226
Figura 142 -	Mapa magnético de satélite (modelo EMAG2)	226
Figura 143 -	Base de dados de poço	228
Figura 144 -	Seção geológica de poços P-1	232
Figura 145 -	Seção geológica de poços P-2	233
Figura 146 -	Seção geológica de poços P-3	233
Figura 147 -	Coluna estratigráfica e superfícies interpretadas na sísmica e nos poços	234
Figura 148 -	Mapa estrutural em profundidade e espessura do pré-rifte	235
Figura 149 -	Mapa estrutural em profundidade e espessura do rifte	236
Figura 150 -	Mapa de espessura do sal	237
Figura 151 -	Mapa estrutural em profundidade ao topo da seção do transicional	237
Figura 152 -	Mapa de espessura da plataforma carbonática	238
Figura 153 -	Mapa de espessura da seção marinha	238
Figura 154 -	Mapa batimétrico	239
Figura 155 -	Relação densidade e velocidade das seqüências SpreR e SR nos poços	240
Figura 156 -	Relação densidade e velocidade das seqüências Aptiana e Albiana nos poços	241
Figura 157 -	Relação densidade e velocidade da seqüência do drifte nos poços	241
Figura 158 -	Mapa de velocidade DIX nas seqüências do pré-rifte, rifte e drifte-A..	243
Figura 159 -	Mapa de velocidade DIX na seqüência do drifte-U	243
Figura 160 -	Comparação entre as velocidades do poço e a sísmica (DIX) nas seqüências do pré-rifte/rifte e drifte-A	244
Figura 161 -	Distribuição de segmentos NVM, SVM e MVM	250
Figura 162 -	Idades e distribuição de eventos na SAM	251
Figura 163 -	Possíveis trajetórias dos principais <i>hotspots</i> nos últimos 140 M.a	252
Figura 164 -	O Geóide	286
Figura 165 -	Relação entre a topografia, o geóide e o elipsóide de referencia	286
Figura 166 -	Mapa de distribuição do dado levantado na Bacia de Almada	290
Figura 167 -	Satélites altimétricos	292
Figura 168 -	Satélites gravimétricos.....	293
Figura 169 -	Tipos de deriva.....	295
Figura 170 -	Correção de latitude	298
Figura 171 -	Correção de Ar livre	299
Figura 172 -	Correção de Bouguer	299
Figura 173 -	Correção topográfica	299
Figura 174 -	Conceito de anomalia local e regional	302

Figura 175 -	Anomalia local e regional	303
Figura 176 -	Tipos de ondas sísmicas	309
Figura 177 -	Comportamento dos raios incidente, refletido e refratado quando a velocidade v_2 é maior que v_1	312
Figura 178 -	Reflexões críticas e subcríticas	313
Figura 179 -	Geometria do raio refletido	314
Figura 180 -	Possíveis distribuições geométricas de fontes e receptores na aquisição do dado sísmico	315
Figura 181 -	Perfil sísmico de um <i>shot gathers</i>	317
Figura 182 -	Empilhamento do dado	317
Figura 183 -	Exemplo do princípio do CMO numa interfase horizontal	318
Figura 184 -	Exemplo de um CMP <i>gathers</i> antes e depois da aplicação do <i>normal moveout</i>	319
Figura 185 -	Exemplo de um CMP <i>gathers</i>	319
Figura 186 -	Exemplo de uma seção sísmica sem migrar e migrada	320
Figura 187 -	Sísmica vertical	321
Figura 188 -	Custo – benefício dos diferentes métodos de conversão tempo- profundidade	322
Figura 189 -	Cobertura do dado sísmico (a) e procedimentos adotados na conversão tempo – profundidade da Moho refletiva	325
Figura 190 -	Seção sísmica X-1, processamento em AGC	327
Figura 191 -	Seção sísmica X-1, processamento em <i>reflection strength</i>	328
Figura 192 -	Seção sísmica X-2, processamento em AGC	329
Figura 193 -	Seção sísmica X-2, processamento em <i>reflection strength</i>	330
Figura 194 -	Seção sísmica X-3, processamento em AGC	331
Figura 195 -	Seção sísmica X-3, processamento em <i>reflection strength</i>	332
Figura 196 -	Seção sísmica X-4, processamento em AGC	333
Figura 197 -	Seção sísmica X-4, processamento em <i>reflection strength</i>	334
Figura 198 -	Distribuição de densidades e velocidades na perfilagem de poços	338

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Bacias da margem leste de América do Sul	100
Tabela 2-	Características gerais da margem passiva atlântica Sul-Americana ...	129
Tabela 3-	Poços exploratórios da Bacia de Almada	336
Tabela 4-	Valores de densidades e velocidades de poços	339

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

#	Número
%	Porcentagem
±	Mais o menos
β	Fator de estiramento crustal
γ	Fator de estiramento sub-crustal
~	Aproximadamente
<	Menor que
>	Maior que
2D	Sísmica bidimensional
3D	Sísmica tridimensional
ANP	Agencia nacional de petróleo do Brasil
Ar	Argônio
Ar/Ar	Método de datação de Argônio
Ba	Bário
BDEP	Banco de exploração e produção
BGR	<i>Instituto Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe</i> ,(Alemanha).
BIRPS	<i>The British Institutions Reflection Profiling Syndicate</i> (Inglaterra).
BSRV	Vulcanismo do rifte nas bacias
CaO	Oxido de Cálcio
CI	Crosta inferior
cm	Centímetro
CO	Crosta oceânica
COB	Limite crosta oceânica – continental
COCORP	<i>The Consortium for Continental Reflection Profiling</i> , USA. (Projeto de sísmicas profundas).
COPPE	Instituto de pós-graduação e pesquisa de engenharia. UFRJ.
CPRM	Companhia de pesquisa de recursos minerais.
D	Falhas lítricas (<i>Detachments</i>)
DEKORP	<i>Deutsches Kontinentales Reflexionsseismisches Programm</i> (Alemanha)
DIX	Velocidades intervalares do procesamento sísmico
DSDP	<i>Deep sea drilling project</i>
DSP	Os perfis de tipo quase-vertical (<i>Deep seismic profiles</i>)
DSS	Sísmica de ângulo aberto (<i>wide angle seismic</i>)
DT	Perfil sônico de poço
E	Leste
EARTH	Companhia do Reino Unido especializada em tectônica
MOVES	
EC	Embasamento Cristalino
ECORS	Projeto de sísmica profunda da França
EMAG2	Projeto de magnetometria de satélite (<i>Earth magnetic anomaly</i> ; (http://geomag.org/models/emag2.html)).
FB	Falhas de empurrão

FeO	Oxido Ferroso
FFT	Transformada rápida de Fourier
Fm.	Formação
G.a.	Giga anos (1000000000 anos)
g/cm ³	Densidade (gramo por centímetro cúbico)
GR	Perfil de raio gama natural de poço
Gr.	Grupo
HVZ	<i>High velocity zone</i> (ou <i>underplate</i>)
IGRF	<i>International geomagnetic reference field</i>
IGSN71	Rede internacional de standardização do dado gravimétrico
K	Potássio
K/Ar	Método de datação de Potássio / Argônio.
K2O	Oxido de Potássio
km	Quilômetros
km/s	Velocidade em quilômetros por segundos
La	Lantânio
Lat.	Latitude
LEPLAC	Projeto de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira. (Marinha do Brasil)
LIPs	<i>Large igneous provinces</i>
Long	Longitude
m	Metros
M.a.	Milhões de anos
m/s	Velocidade (metro por segundo)
Mb.	Membro
Mg	Magnésio
MgO	Oxido de Magnésio
mm/ano	Milímetros a o ano
Moho	Descontinuidade de Mohorovicic
MT	Magnetotelúrico
MVM	Margem vulcânica moderada
N	Norte
Nb	Nióbio
Nd	Neodímio
NE	Rumo nordeste
NE-SO	Rumo nordeste-sudoeste
N-MORB	<i>Normal mid ocean ridge basalts</i>
NNE-SSO	Rumo nor nordeste-sul sudoeste
NO	Rumo noroeste.
NO-SE	Rumo noroeste-suleste
NRT	Biozona de nanofosseis
N-S	Rumo norte-sul
NVM	Margem não vulcânica
O	Oeste
ODP	<i>Ocean drilling project</i>
ONO-ESSE	Rumo oeste noroeste-leste suleste
P	Onda compressiva primaria
Pb	Chumbo
Penrose	Conferencia Penrose para o estudo dos ofiolitos
PGS	Companhia de geofísica. PGS Petrolífera do Brasil

PSDM	Processamento sísmico pré <i>stack depth migration</i>
PSTM	Processamento sísmico pré <i>stack time migration</i>
r2	Coefficiente de correlação
RADAM	Projeto Radam (Radar na Amazônia) foi um processo de levantamento sobre o relevo brasileiro, utilizando como base imagens geradas por radar, desenvolvido pelo Brasil.
Rb	Rubídio
Rb/Sr	Método de datação de Rubídio / Estrôncio
RHOB	Perfil de densidade de poço
RHOZ	Perfil de densidade de poço
RMS	Velocidade do processamento sísmico (<i>root mean squared</i>)
S	Sul
SAMBA-GETECH	Projeto sobre margens do atlântico sul, Universidade de Leeds (UK)
SD	Superseqüência drifte
SD-A	Seqüência carbonática do Albiano.
SDRs	Seaward dipping reflectors
SDRs_NORTE	Seaward dipping reflector no litoral nordeste
SDRs_SUL	Seaward dipping reflector no litoral sudeste
SD-U	Superseqüência marinha do drifte (Fm. Urucutuca)
SE	Rumo sudeste
Seg.	Segundos
SEQ.	Seqüência
Si	Silício
SiO2	Oxido de silício
SO	Rumo sudoeste
SPAN (ION - GXT)	Programa de levantamento sísmico crustal especulativo da empresa ION-GXT.
SposR	Superseqüência pós-rifte
SpreR	Superseqüência pré-rifte
SR	Superseqüência rifte ou sin-rifte
Sr	Estrôncio
SR-A	Seqüência clástica do rifte Aptiano
SVM	Margem vulcânica de caráter forte
Tecva	Processamento sísmico <i>Post Stack</i>
TFL	Traços de fissão
THD	<i>Total horizontal derivative</i> (Atributo da gravimetria).
TiO2	Oxido de Titânio
T-MORB	Toleitas do centro do espalhamento oceânico
TWT	Tempo duplo sísmico
UERJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USA	Estados Unidos de América
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unido de America
UTM 24 S	Projeção Universal Transversal Mercator, Meridiano Central 24 Sul
VEL-DTC	Velocidade intervalar do perfil sônico compressivo
VM	Margem vulcânica
VSP	Perfil de sísmica de poço

WGS84	Sistema geodésico internacional de referencia 1984
WST	Perfil de sísmica de poço
Yb	Itérbio
ZCIIC	Zona de cisalhamento “Itabuna-Itajú do Colônia”
ZFRG	Zona de fratura do Rio Grande

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	21
1	ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	23
1.1	Antecedentes bibliográficos	23
1.2	Marco geológico regional	28
1.3	Localização geográfica	30
1.4	O arcabouço tectônico	31
1.4.1	<u>Porção emersa</u>	31
1.4.2	<u>Porção submersa</u>	32
1.5	O arcabouço estratigráfico	33
1.5.1	<u>Embasamento Cristalino</u>	35
1.5.2	<u>Superseqüência pré-rifte</u>	35
1.5.3	<u>Superseqüência rifte</u>	36
1.5.4	<u>Superseqüência pós-rifte</u>	38
1.5.5	<u>Superseqüência drifte</u>	39
1.6	O sistema petrolífero da Bacia de Almada	41
2	A DESCONTINUIDADE DE MOHOROVICIC	43
2.1	Introdução	43
2.2	Metodologias aplicadas no estudo da Moho	45
2.2.1	<u>A Moho sísmica e sismológica</u>	46
2.2.2	<u>A Moho gravimétrica</u>	50
2.2.3	<u>A Moho isostática</u>	52
2.2.4	<u>A Moho petrológica</u>	53
2.2.5	<u>A Moho elétrica</u>	54
2.2.6	<u>Outros métodos de estudo</u>	56
2.3	A Moho e os tipos crustais	56
2.3.1	<u>Crosta Continental</u>	57
2.3.2	<u>Crosta Oceânica</u>	65
2.3.3	<u>Crosta Transicional</u>	67
3	REVISÃO DOS ELEMENTOS COMPOSICIONAIS E DOS MECANISMOS DE FORMAÇÃO DA MARGEM ATLÂNTICA SUL-AMERICANA	73
3.1	Introdução	73
3.2	Margens divergentes vulcânicas e não vulcânicas (VM e NVM)	74
3.2.1	<u>Elementos composicionais das margens</u>	75
3.2.1.1	Margens de rifte vulcânicas (VM)	75
3.2.1.2	Margens de rifte não vulcânicas (NVM)	81
3.2.2	<u>Elementos estruturais da margem</u>	82
3.3	Análise dos elementos composicionais e estruturais na margem passiva Sul-Americana	86
3.3.1	<u>Introdução</u>	86
3.3.2	<u>Províncias magmáticas continentais</u>	86
3.3.2.1	LIP do Chon Aike	86
3.3.2.2	LIP do Paraná	88
3.3.2.3	A província magmática do Cabo Santo Agostinho	90
3.3.3	<u>SDRs do Atlântico sul</u>	93
3.3.4	<u>O vulcanismo do rifte (BSRV) das bacias da margem passiva</u>	97

3.3.5	O magmatismo “ <i>underplate</i> ” na margem passiva	105
3.4	Mecanismos de formação das VM e NVM	107
3.4.1	<u>Introdução</u>	107
3.4.2	<u>Riftes ativos e plumas</u>	108
3.4.3	<u>Riftes passivos</u>	110
3.4.4	<u>Riftes passivos “quentes” e “frios”</u>	111
3.4.5	<u>Modelos de distensão litosférica em riftes passivos</u>	112
3.4.6	<u>Riftes passivos-ativos</u>	118
3.4.7	<u>Interações entre rifteamento e magmatismo</u>	121
4	SEGMENTOS SVM E MVM (FORTES E MODERADOS) E NVM NA MARGEM ATLÂNTICA SUL-AMERICANA E O MODELO DE RIFTEAMENTO ATIVO-PASSIVO.....	128
4.1	Introdução	128
4.2	Segmento Austral – Rawson/Valdez (SVM)	130
4.3	Bacia do Colorado (MVM)	144
4.4	Segmentos Salado/Punta del Este e Pelotas (SVM)	146
4.5	Segmento Santos-Espírito Santo/Mucuri (MVM)	150
4.6	O magmatismo <i>onshore</i> nos segmentos de Punta del Este e Pelotas–Espírito Santo: LIPs do Paraná	164
4.7	Segmento Cumuruxatiba – Camamu (NVM)	170
4.8	Segmento Jacuípe – Sergipe/Alagoas (MVM)	171
4.9	Bacias de Pernambuco – Paraíba (SVM)	175
5	A BACIA DE ALMADA	179
5.1	A Moho refletiva e gravimétrica de Almada	179
5.2	Os Embasamentos Cristalino e Océanico	191
5.2.1	<u>Introdução</u>	191
5.2.2	<u>Variação composicional</u>	193
5.2.3	<u>Variação do campo de densidade e velocidade no EC</u>	196
5.2.4	<u>Estruturação do EC</u>	201
5.2.4.1	Porção emersa: Faixa Itabunas Costeiro Atlântico	201
5.2.4.2	Porção submersa : Bacia de Almada	206
5.2.5	<u>Limite crosta continental – crosta oceânica (COB)</u>	216
5.2.6	<u>Estruturação do Embasamento Océanico</u>	220
5.3	A seção sedimentar da bacia de Almada	227
5.3.1	<u>Introdução</u>	227
5.3.2	<u>Análise estratigráfica e estrutural</u>	229
5.3.2.1	A seqüência do pré-rifte	229
5.3.2.2	A seqüência do sin-rifte e pós-rifte	229
5.3.2.3	A seqüência do drifte	231
5.3.3	<u>Estimações de densidades e velocidades do registro sedimentar ...</u>	239
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	245
6.1	Arquitetura crustal da Bacia de Almada	245
6.2	O segmento Cumuruxativa-Camamu: um exemplo de uma NVM na margem leste de América do Sul	246
6.3	O segmento sul da Bahia no contexto da margem passiva da América do Sul	248

REFERÊNCIAS	253
APÉNDICE A-	Dado gravimétrico: introdução, fundamentos físicos, aquisição, processamento e interpretação do dado gravimétrico.....	282
APÉNDICE-B -	Dado sísmico: introdução, fundamentos físicos, aquisição, processamento, conversão tempo-profundidade, interpretação e apresentação do dado sísmico	308
APÉNDICE-C -	Dado de poço: introdução, ferramentas de perfilagem, estimativas de velocidades e densidades no dado de perfurações.....	335

INTRODUÇÃO

Apresentação:

Esta dissertação é um dos requisitos para a obtenção do grau de mestre no Programa de pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado de Rio de Janeiro (UERJ).

O tema abordado neste trabalho de mestrado é intitulado “Arquitetura crustal da Bacia de Almada no contexto das bacias da margem leste da América do Sul”.

A dissertação foi desenvolvida sob a orientação do Dr. Webster Mohriak, do Departamento de Geociências da UERJ e da Gerencia de Exploração da Petrobras, e em co-orientação com a Dra. Valeria Barbosa, do Observatório Nacional de Rio de Janeiro.

Objetivos, métodos e desenvolvimento da linha de pesquisa:

O dicionário Aurélio, da língua Portuguesa, define a palavra “**arquitetura**” (do latim *architectura*), em sentido estrito, como a “arte de projetar e construir edifícios”, enquanto que no sentido figurado, refere-se a todo o relativo à forma e estrutura. Já a “**crosta**” é definida como a camada mais externa da Terra acima da descontinuidade de Mohorovicic, que a separa do manto. Na crosta se reconhecem dois tipos principais de ambientes, com composições essencialmente diferentes, que são a **crosta continental** e a **crosta oceânica**.

Neste sentido, a “**arquitetura crustal**” refere-se a “**como a crosta está construída**”, ou seja, se importa com a forma, estruturação, composição e a natureza das passagens entre a crosta continental e a crosta oceânica e entre estas e o manto.

O presente estudo objetiva interpretar a configuração crustal da Bacia de Almada no litoral sul do Estado da Bahia. A dissertação foi organizada em seis capítulos, a pesquisa iniciou-se com uma exaustiva compilação bibliográfica sobre a geologia da região do litoral sul da Bahia (**Capítulo 1**). Posteriormente, foi necessário definir a superfície de separação entre a crosta e o manto, ou “**Descontinuidade de Mohorovicic**”. Esta descontinuidade é complexa e variada e se apresenta de forma diferente tanto nos ambientes crustais considerados como segundo as metodologias de trabalho utilizadas no seu estudo (**Capítulo 2**). A maior parte da Bacia de Almada, esta localizada no mar, razão pelo qual não há quase possibilidade de amostragem direta e os estudos da bacia são essencialmente indiretos. Requer-se de uma aproximação multidisciplinar que compreende metodologias tais como:

análise e modelagem gravimétrica e magnetométrica, interpretação e processamento sísmico (pós-stack), e análise das perfurações geológicas (**APÊNDICES A, B e C** respectivamente).

As margens passivas podem ser estudadas desde diferentes perspectivas, o **enfoque composicional** da margem é uma das possibilidades de análise. Segundo este tipo de aproximação, as margens podem ser classificadas como: **vulcânicas** e **não vulcânicas**, dependendo da presença e abundância do magmatismo contemporâneo com a geração da margem. O magmatismo do sin-rifte é muito variado em termos composicionais, nas formas em que se manifesta e nos possíveis mecanismos de geração. No **Capítulo 3**, foi efetuada uma extensa revisão dos elementos composicionais e dos mecanismos de formação da margem passiva do Atlântico Sul.

Noventa por cento da margem é essencialmente vulcânica, embora o segmento do sul da Bahia seja não vulcânico. Também quando observada em conjunto, a magnitude do magmatismo assim como os principais produtos gerados e os possíveis mecanismos genéticos são muito variados ao longo do litoral leste do Atlântico Sul. O comportamento diferenciado da Bacia de Almada (e do litoral sul da Bahia) requereu de uma análise regional dos diferentes segmentos que compõem a margem. Esta problemática foi abordada no **Capítulo 4**, onde se revisaram as principais características e os possíveis mecanismos de formação de cada um destes segmentos.

O **Capítulo 5** compreende a Bacia de Almada propriamente dita. Neste capítulo se detalham os elementos que compõem a arquitetura crustal, tais como são a Moho, a estruturação e composição do embasamento continental e oceânico, e a revisão da seção sedimentar.

Finalmente no **Capítulo 6**, se discutiram as conclusões e considerações finais do presente estudo.

Localização geográfica:

A área de estudo, que compreende a Bacia de Almada, se localiza aproximadamente a 170 km ao sul da cidade de Salvador no Estado da Bahia, entre as coordenadas 14° a 14° 37' de latitude sul e aproximadamente entre os 35° a 40° de longitude oeste. A Bacia de Almada é uma das 18 bacias que compõem a margem distensiva leste do Atlântico Sul, desde o sul da Argentina até o nordeste do Brasil, tal como pode observar-se nas Figuras 6 e 7 do Capítulo 1.

1 ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

1.1 Antecedentes bibliográficos

Devido à similaridade geológica e continuidade geográfica, a Bacia de Almada tem sido estudada geralmente em conjunto com a Bacia de Camamu. Entre as principais publicações que abordaram diferentes aspectos da evolução das Bacias de Almada e Camamu destacam-se os trabalhos de:

- Carvalho (1965) apresenta dados e resultados do mapeamento geológico de superfície.
- Netto (1977) estuda a presença de barita na bacia e apresenta uma proposta de carta estratigráfica com um sumário da evolução geológica (Figura 1).
- Bruhn e Moraes (1989) analisam os turbiditos da Formação Urucutuca na porção emersa da Bacia de Almada.
- Netto e Ragagnin (1990) analisam os compartimentos exploratórios da Bacia de Camamu e apresentam uma nova proposta de carta estratigráfica (Figura 2)
- Netto et al. (1994) que apresentam uma atualização da carta cronoestratigráfica para as Bacias de Camamu e Almada (Figura 3).
- Bedregal (2005) , Kuschle (2004) e Perez (2004) revisaram a configuração estrutural regional e a estratigrafia da seção rifte destas bacias. Estes estudos fizeram parte de um projeto regional de mapeamento, análise dos sistemas petrolíferos e modelagem quantitativa das Bacias de Camamu e Almada, realizado no ano de 2003 pela COPPE, UFRJ e ANP.
- Gontijo et al. (2007) atualizaram a carta estratigráfica da Bacia de Almada, como parte do projeto regional de revisão do conhecimento das bacias brasileiras, conduzido pela Petrobras durante os anos 2007-2008 (Figuras 4 e 5).

Numa escala de abordagem regional, que incluem uma análise da evolução tectono-sedimentar das bacias da margem leste do Brasil, podem ser mencionados os trabalhos de Chang et al. (1992); Milani e Thomaz Filho (2000) e Mohriak (2003).

PERÍODO	ANDAR	LITOLOGIA	GRUPO	FORMAÇÃO	Mb.	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
QUATERNÁRIO				"SPA"		Areias e lamas
TERCIÁRIO	PLIOCENO			BARREIRAS		Arenitas finas a conglomeráticas, quartzarenitas.
	MIOCENO			SEM DENOMINAÇÃO		Calcarenitas bioclastos, areia quartzosa média a grossa.
CRETÁCIO	SÚPERIOR	SANTONIANO	CAMAMU	ALGODÕES	Q	QUIEPE: Calcilutitos com foraminíferos planctônicos
		CONIACIANO			G	GERMÂNIA: calcários dolomíticos, calcários oolíticos e pisalíticos
		TURONIANO				
		CENOMANIANO				
		ALBIANO				
	INFERIOR	ALAGOAS	SANTO AMARO	CANDEIAS	I	IGRAPIUNA: halita, andrito, gipsita, barita, dolomita, sílex.
		JEQUIÁ			S	SERINHAEM: folhelho e arenito
		BURACICA				Folhelho cinza, duro, laminado a macio sílico, micáceo; menor calcilutito castanho e aren. mu. fn.
		ARATU			M B	MORRO DO BARRO: aren. mu. fn. a cgl.
		RIO DA SERRA				
JURÁSSICO	DOM JOÃO	BROTAS	SERGI		Arenito fino a conglomerático	
			ALIANÇA		Folhelho vermelho	
PRÉCAMBRIANO			CARAÍBAS		Gnaíse	

Figura 1- Carta estratigráfica da Bacia de Camamu.
Fonte: NETTO et al., 1977.

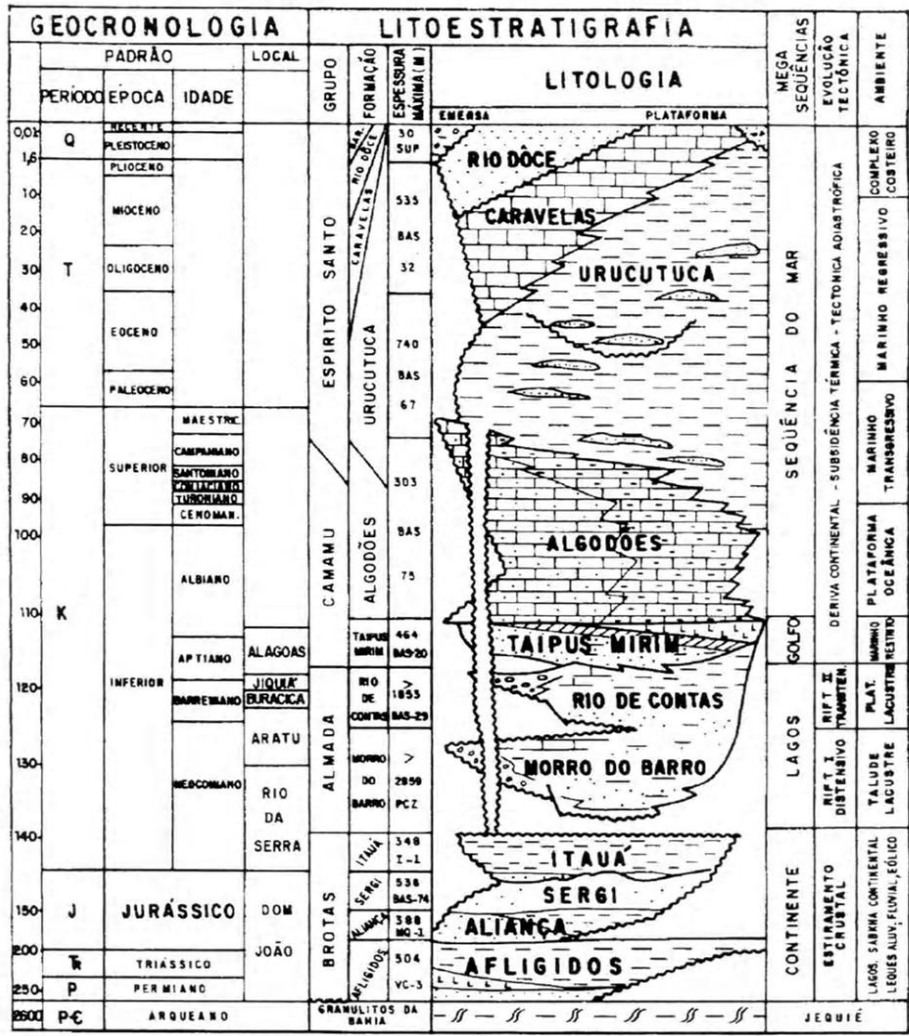


Figura 2 - Carta estratigráfica da Bacia de Camamu.
Fonte: NETTO e RAGAGNIN, 1990.

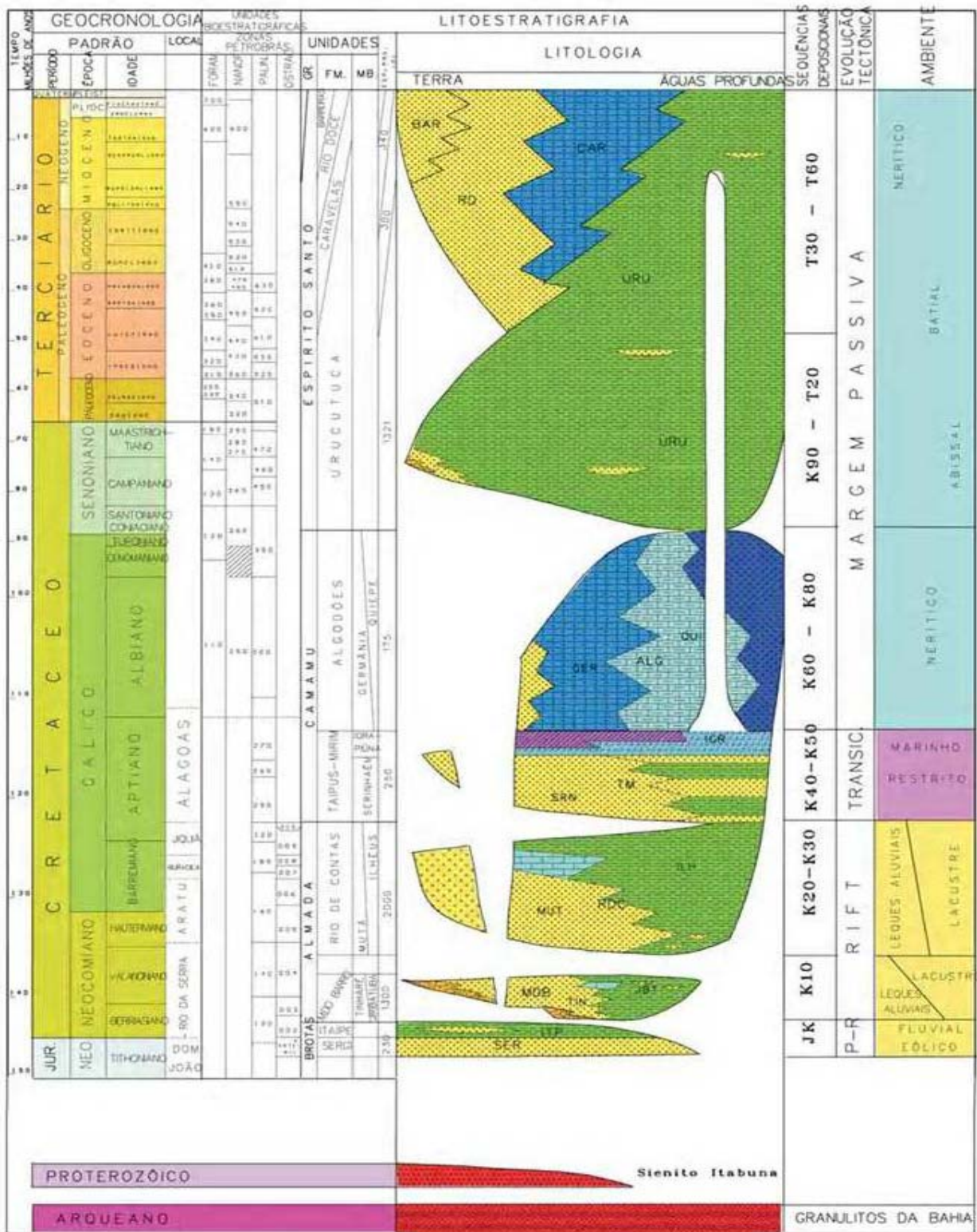
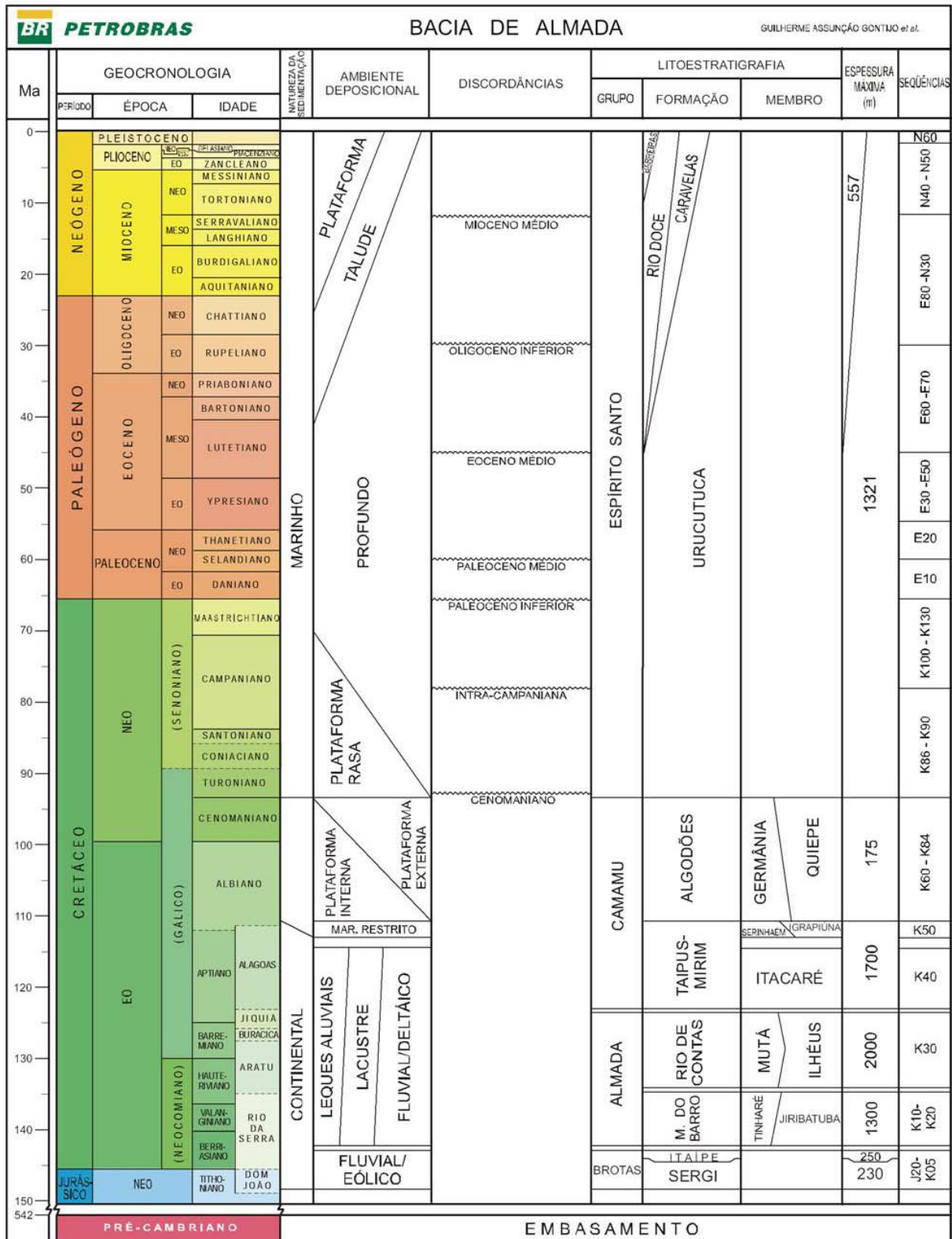


Figura 3. Carta estratigráfica da Bacia de Almada.

Fonte: NETTO et al., 1994.



1.2 Marco geológico regional.

A Bacia de Almada localiza-se no domínio da província geomorfológica da “Margem Divergente Leste” do Atlântico Sul, ligada à placa sul americana (DELGADO et al., 2003; MILANI e THOMAZ FILHO, 2000). Este domínio divergente leste estende-se desde a Terra do Fogo, ao sul da Argentina, até o delta do Orinoco, na Venezuela, compreendendo quase toda a margem atlântica do continente sul americano (Figura 6).

O domínio “divergente da placa sul-americana” pode ser subdividido em segmentos segundo o regime de esforço dominante durante a separação do paleocontinente de Gondwana durante o Mesozóico, que resultou na formação dos continentes sul-americano e africano. Desde aproximadamente a latitude da cidade de Recife ($\sim 10^\circ$) ao sul, o regime dominante foi de esforço distensivo, sendo reconhecido na literatura como o segmento da “Margem Leste”. Ao norte dos -10° , a margem Atlântica continua no segmento denominado de “Equatorial” com atuação de regimes distensivos e transcorrentes, como pode observar-se na Figura 6 (MILANI e THOMAZ FILHO, 2000; MOHRIAK, 2003).

O Domínio Atlântico Sul da margem Leste, está caracterizado por um grande número de bacias de fase rifte, que evoluíram desde o Jurássico (no sul da Argentina) até o Cretáceo (na margem leste do Brasil). Algumas destas bacias abortaram precocemente durante a sua evolução tectônica, como por exemplos as Bacias de Recôncavo, Tucano e Jatobá, no interior do continente, enquanto as bacias evaporíticas do corredor “Santos” até “Camamu e Almada”, conseguiram completar a evolução rifte /margem passiva (MOHRIAK, 2003).

Na literatura geológica brasileira existe um amplo consenso a respeito da evolução geológica geral da “Margem Leste” compreendendo quatro fases distintas denominadas por Chang et al. (1992) como: **pré-rifte**, **sin-rifte** (ou rifte), **pós-rifte** e **drifte**.

A fase pré-rifte, caracteriza-se por uma sinéclise intracontinental com depósitos sedimentares do Paleozóico e Mesozóico, como os observados nas Bacias de Pelotas, Cumuruxativa, Jequitinhonha, Camamu, Almada, Sergipe e Alagoas. Nas Bacias de Santos, Campos, Espírito Santo e Mucuri, não há registro de sedimentos desta fase reportados até o momento. Quando presentes, os depósitos sedimentários Mesozóicos são de origem continental

e apresentam fácies fluvial, eólica e lacustre, de caráter regional, tais como os observados nas Bacias de Camamu e Almada (MOHRIAK, 2003; NETTO et al., 1994).

A fase sin-rifte, de idade Neocomiano até Aptiano Superior, apresenta importantes falhamentos de alto e baixo ângulos (sistemas lístricos), rotação de blocos e desenvolvimento de sistemas antitéticos e sintéticos. O intenso falhamento característico desta fase gerou importantes calhas deposicionais com desenvolvimento de sistemas lacustrinos profundos e anóxicos, ricos em matéria orgânica, constituindo as principais rochas geradoras de hidrocarbonetos conhecidas nas bacias da margem leste (MELLO et al., 1995; MOHRIAK, 2003).

A evolução geológica continuou com o preenchimento destes lagos e a consequente evolução para sistemas marinhos restritos da fase pós-rifte durante o Aptiano Superior, com importantes depósitos evaporíticos como os registrados nas bacias do corredor Santos/Almada. Nesta fase são importantes as estruturas vinculadas à movimentação de sal e folhelhos. Na margem leste, houve a presença de vulcanismo durante as fases do rifte, pos-rifte e no drifte. Geograficamente este vulcanismo é confirmado pela presença de diques máficos nas porções emersas das bacias, em complexos vulcânicos como os de Royal Charlotte e Abrolhos, e também, na proximidade do limite crosta continental–oceânica com o desenvolvimento de cunhas de SDRs (*seaward-dipping reflectors*) (MOHRIAK, 2003).

O último grande evento ou fase drifte compreende os depósitos de idade Albiana até o recente. Esta fase é caracterizada por subsidência térmica, sedimentação marinha e configuração de bacia marginal com desenvolvimento de plataforma, talude e planícies abissais. São frequentes nesta fase as estruturas adiastróficas associadas à movimentação de sal e folhelhos (MOHRIAK, 2003).

Apesar destes estágios de desenvolvimento serem comuns nas bacias da margem leste brasileira, não obstante, apresentam-se também fatores locais que conferem certas particularidades a cada uma das bacias. No caso da Bacia de Almada, estas particularidades serão detalhadas nos próximos tópicos deste capítulo.

1.4 O arcabouço tectônico.

A configuração estrutural da Bacia de Almada é a típica de uma bacia do tipo de margem atlântica divergente, que evoluem após um estágio inicial de rifte continental durante a abertura do Oceano Atlântico, a partir do Eocretáceo, para um estágio de subsidência termal a partir do Neocretáceo.

Para a análise do arcabouço estrutural da Bacia de Almada, no presente estudo, se dividiram os compartimentos em suas porções emersas e submersas:

1.4.1 Porção emersa:

Na porção emersa da bacia e no embasamento cristalino próximo a esta, os principais elementos estruturais reconhecidos na literatura geológica são (Figura 7):

- **Alto de Olivença:** este alto de embasamento está formado por afloramentos de granitos com importantes anomalias magnéticas e constitui o limite sul da Bacia de Almada com a Bacia de Jequitinhonha. Apresenta lineamentos orientados segundo as direções N-S, NW-SE e NE-SW (LYRIO, 2002; PEREZ, 2004).
- **Domínio VI-2 (RADAMBRASIL) e Enclave de Almada,** apresentam estruturas do tipo *horst* e *grabens* com orientações principalmente na direção NNE-SSW. O embasamento é composto por rochas do Complexo Jequié e da Suíte Intrusiva Itabuna. Neste domínio destaca-se a zona de cisalhamento Itabuna – Itajú do Colônia. Este mega-cisalhamento, com origem no Precambriano e reativação no Mesozóico, apresenta movimentação transcorrente dextral e orientação NE (CORREA et al., 1988). Durante o Cretáceo Inferior estas falhas foram reativadas em seu extremo nordeste, criando um enclave de bacia de rifte na porção emersa denominado de **Enclave de Almada**. Nesta área depositaram-se sedimentos turbidíticos da Formação Urucutuca e sedimentos recentes do Rio Almada. Na desembocadura deste rio, desde o Cenomaniano até o Recente, implantou-se um rasgo erosivo submarino denominado de “Cânion de Almada”, que constituiu um importante conduto para ingressos de depósitos turbidíticos em águas profundas da bacia (ARCANJO, 1997; BRUHN e MORAES, 1989; PEREZ, 2004).

- **Alto de Taipus:** este alto de embasamento, de importante expressão magnética, constitui o limite entre a Bacia de Camamu, ao norte, e Almada, ao sul.

1.4.2 Porção submersa:

As feições estruturais mais importantes, na porção submersa da bacia, são os lineamentos de direção N-S e NNE-SSW. Na sísmica podem reconhecer-se facilmente a presença de *horsts*, *grabens* e blocos de embasamento rotacionados por sistemas de falhas normais sintéticas de orientação NNE-SSW, e sistemas de falhas antitéticos a estes últimos. Observa-se claramente o controle do embasamento precambriano na estruturação da parte submersa da bacia (Figura 7). Os principais elementos estruturais da porção submersa são :

- Estruturas de tipo *horst*. Estes lineamentos podem constituir a continuação submersa do megacisalhamento Itabuna – Itajú do Colônia (PEREZ, 2004).
- **“Trends” de blocos NNE:** observa-se uma tendência regional de blocos com orientação NNE-SSW na sísmica e nos mapas magnéticos. É possível reconhecê-los nas linhas sísmicas como blocos de embasamento rotacionados, controlados por falhas com vergência NW (GORDON, 2007).
- **Alto de Aritaguá:** este alto de embasamento começa na costa e se desenvolve principalmente na porção submersa. Apresenta-se com um forte caráter nos mapas magnéticos como uma tendência de orientação NE-SW.
- **Rampa de Itacaré**
- **Zona de Transferência NW-SE (de Ilheus)**

1.5 O arcabouço estratigráfico

Na recente revisão do arcabouço estratigráfico de Gontijo et al. (2007), Figuras 4 e 5, estes autores fazem uma atualização do trabalho original de Netto et al. (1994), Figura 3, e estabelecem uma divisão da seção sedimentar em quatro superseqüências nas quais se distribuem quinze seqüências, abrangendo rochas do Jurássico Superior, Cretáceo, Paleógeno e Neógeno.

Na Bacia de Almada, diferentemente das Bacias de Camamu e do Recôncavo situadas ao norte, a Superseqüência Paleozóica não está presente, de modo que os primeiros registros sedimentares da Superseqüência Pré-rifte, do Neojurássico, se sobrepõem diretamente ao Embasamento Cristalino (GONTIJO et al., 2007; NETTO et al., 1994). De acordo com estes últimos autores, o arcabouço estratigráfico da bacia de Almada estaria constituído (Figura 5) por cinco unidades :

- **Embasamento Cristalino (EC)**
- **Superseqüência pré-rifte (SpreR)**
- **Superseqüência rifte (SR)**
- **Superseqüência pós-rifte (SposR)**
- **Superseqüência drifte (SD)**

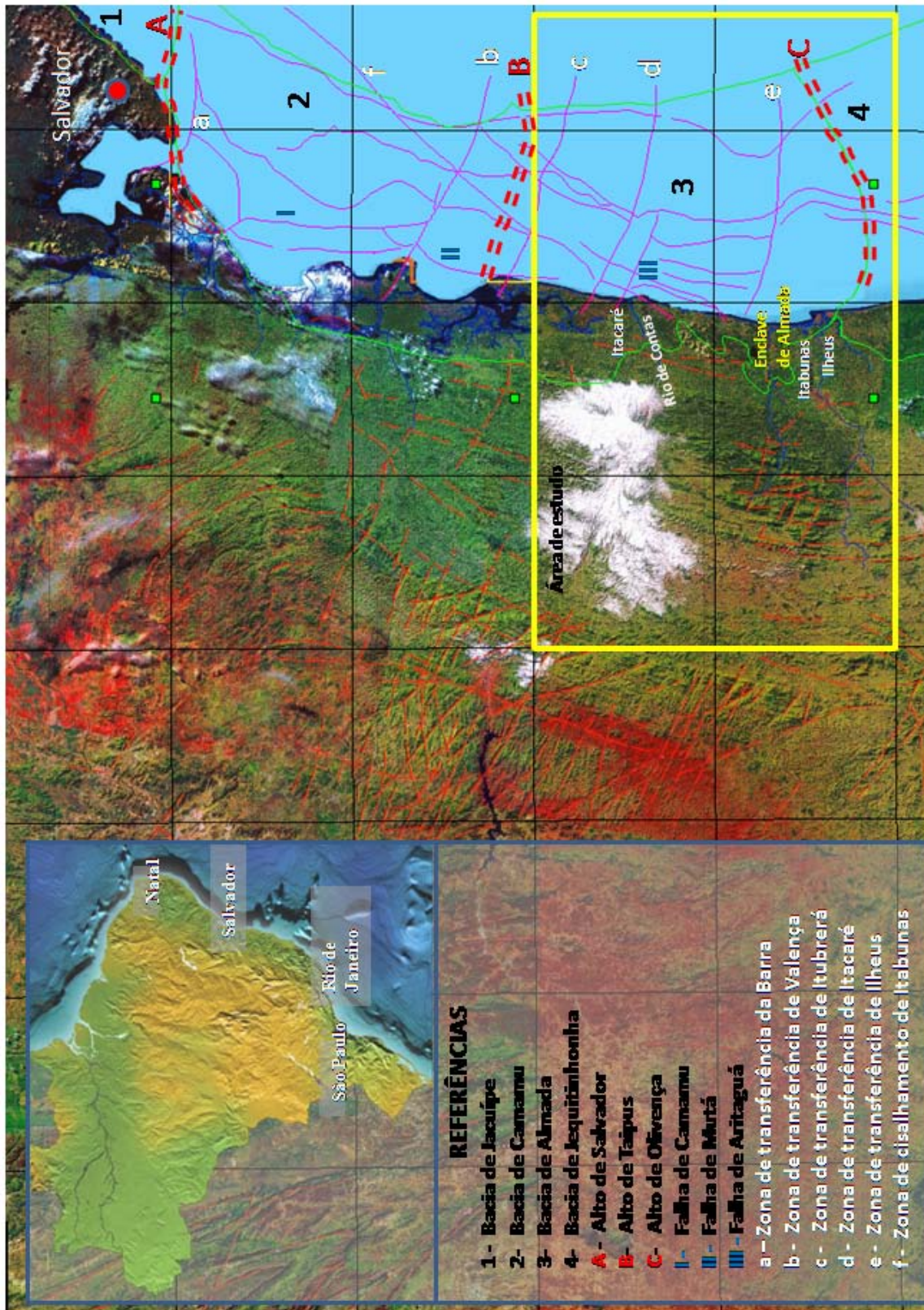


Figura 7- Localização e arcabouço estrutural da Bacia de Almadã.

1.5.1 Embasamento Cristalino (EC)

O embasamento Precambriano da Bacia de Almada integra a Província ou Cratón de São Francisco (ALMEIDA, 1977; DELGADO et al., 2003).

Segundo Barbosa et al. (2003), o Cratón do São Francisco é formado pela aglutinação de terrenos Paleoproterozóicos e Arqueanos através de colisões crustais. Estas rochas estão reequilibradas metamorficamente em fácies de granulito, anfíbolito e xisto verde.

Netto et al. (1994), descreve na proposta da carta cronoestratigráfica um Embasamento Cristalino constituído pelas unidades “Granulitos da Bahia” de idade Arqueana e o “Sienito Itabuna” do Proterozóico.

Recentemente Gontijo et al. (2007), baseado na análise estrutural de Delgado et al. (2003), reconhecem um embasamento cristalino complexo que evoluiu segundo três fases principais de deformação durante o Neoarqueano, Paleoproterozóico inicial e Paleoproterozóico tardio.

1.5.2 Superseqüência pré-rifte (SpreR, Seqüências J20 – K05)

A superseqüência pré-rifte corresponde ao registro sedimentar mais antigo da bacia, estendendo-se desde o Neojurássico até o Eocretáceo. Litoestratigraficamente, a superseqüência pré-rifte compreende o Grupo Brotas com as Formações Sergi e Itaípe, definidos por Viana et al., (1971) e reformuladas posteriormente por Netto et al. (1994). Estes depósitos possuem uma ampla distribuição geográfica com unidades correlatas nas Bacias de Camamu, Recôncavo, Tucano, Jatobá, Sergipe e Alagoas (GONTIJO et al., 2007).

Algumas das diferenças no registro sedimentar entre as Bacias de Camamu e Almada, como já foram mencionadas anteriormente, são a ausências das unidades paleozóicas e da Formação Aliança do Grupo Brotas, de idade Jurássica, na Bacia de Almada. Nesta bacia a Formação Sergi assenta-se diretamente sobre o Embasamento Cristalino (GONTIJO et al., 2007; NETTO et al., 1994).

- **Formação Sergi:** é composta predominantemente por arenitos hialinos, brancos e castanho esbranquiçados, finos a conglomeráticos, depositados por sistemas fluviais entrelaçados com retrabalhamento eólico (VIANA et al., 1971). A Formação Sergi é predominantemente arenosa, embora possa apresentar localmente intercalações de folhelhos e siltitos em finas camadas. É classificada como de idade Neojurássica devido à identificação de ostracodes não marinhos de idade Dom João (CAIXETA et al., 1994).
- **Formação Itaípe:** foi originalmente definida por Netto et al. (1994) tanto na Bacia de Almada como na Bacia Camamu. Este autor correlaciona esta formação com as formações Itaparica e Água Grande e com o Membro Tauá da Formação Candeias na Bacia de Recôncavo, e com a base da Formação Barra de Itiuba da Bacia de Sergipe-Alagoas. Recentemente esta unidade foi revisada por Caixeta et al. (2007) no âmbito da Bacia de Camamu. Estes autores reconhecem a extensão das unidades presentes na Bacia do Recôncavo na Bacia de Camamu e restringem a presença da Formação Itaípe à Bacia de Almada, redefinindo-se seu perfil-tipo. A Formação Itaípe está composta essencialmente por folhelhos cinza-esverdeados a cinza-acastanhados, com intercalações locais de arenitos, siltitos e calcilutitos. Apresenta um limite transicional, na base, com a Formação Sergi e discordante no topo, com a Formação Morro do Barro. O ambiente deposicional da Formação Itaípe é flúvio-lacustre. Datações de ostracodes indicam idade Rio da Serra inicial (NRT 002) a Neocomiano.

1.5.3 Superseqüência rifte (SR, Seqüências K10 a K 40)

A sedimentação do ciclo do rifte ocorreu durante o Eocretáceo, entre o Berriasiano e o Aptiano (Andares Rio da Serra a Alagoas). Na análise litoestratigráfica, a superseqüência rifte compreende os sedimentos do Grupo Almada (com as Formações Morro de Barro e Rio de Contas) e a porção basal do Grupo Camamu (Formação Taipus Mirim). Gontijo et al. (2007) introduzem algumas modificações em relação à posição da Formação Taipus Mirim. Na proposta original de Netto et al. (1994), esta formação encontrava-se na fase transicional, enquanto que na proposta de Gontijo et al. (2007), a

parte basal, de composição clástica e relacionada com a fase rifte (Membro Itararé), assim como os depósitos evaporíticos superiores, ficariam ambos vinculados à fase pós-rifte (Membros Berinhaem e Igrapiuna).

- **Formação Morro do Barro** (Seqüência K10-K20): constituem os depósitos mais basais desta superseqüência sendo compostos por arenitos com granulometrias que variam de finas a grossas, chegando às vezes até formar conglomerados variegados (Membro Tinharé). Também pode apresentar fácies de folhelhos cinza-esverdeados a castanho escuro, calcíferos, comumente ricos em matéria orgânica que podem conter intercalações de arenitos (Membro Jiribatuba; NETTO et al., 1994). A Formação Morro de Barro é interpretada como resultante da sedimentação num lago controlado tectonicamente, com depósitos localizados de fluxos gravitacionais, os quais geraram fan-deltas, fluxos de detritos e corpos turbidíticos (BARROSO, 1984; NETTO et al., 1994). Os contatos inferior (com a seção pré-rifte) e superior (com a Formação Rio de Contas) são discordantes (NETTO et al., 1994). A Formação Morro do Barro pode ser correlacionada com a Formação Maracangalha e com o Membro Gomo da Formação Candeias, das Bacias de Recôncavo e Tucano, e com a Formação Feliz Deserto, na Bacia de Sergipe-Alagoas (GONTIJO et al., 2007). A presença de ostracodes não marinhos permite outorgar-lhe uma idade Rio da Serra.
- **Formação Rio de Contas** (Seqüência K 30): é composta por folhelhos cinza-esverdeados, cinza-escuros e acastanhados, associados com arenitos muito finos (Membro Ilhéus), e arenitos cinza-esbranquiçados, finos a grossos, conglomeráticos e dolomíticos (Membro Mutá). Interpreta-se para esta formação uma origem deltaica lacustre, e a ocorrência de ostracodes não marinhos outorga-lhe uma idade Aratu. É considerada crono-correlata com as Formações São Sebastião e Pojuca, nas Bacias do Recôncavo e Tucano, Coqueiro Seco e parte da Fm. Penedo, na Bacia de Sergipe-Alagoas, e com a parte superior da Formação Cricaré, nas Bacias de Espírito Santo e Cumuruxatiba (GONTIJO et al., 2007; NETTO et al., 1994).
- **Formação Taipus Mirim, Membro Itacaré** (Seqüência K40): segundo Gontijo et al. (2007) a parte basal da Formação Taipus Mirim foi depositada durante o Aptiano (Andar Alagoas)

e encerra os últimos sedimentos da fase rifte da bacia. Esta formação é composta por fácies argilosas, grandes espessuras de clásticos grossos com intercalações subordinadas de folhelhos. Estes autores assinalam um ambiente de sedimentação fluvio-deltaica, provavelmente proveniente de fontes ao leste e nordeste. Também definem o Membro Itacaré para caracterizar a importante seção de clásticos grossos, e estendem a formação até a Bacia de Camamu.

1.5.4 Superseqüência pós-rifte (SpostR, Sequência K50)

Tal como foi mencionado anteriormente, na nova proposta de carta estratigráfica de Gontijo et al. (2007), estes autores consideram os Membros Serinhaém e Igrapiúna da Formação Taipus Mirim (NETTO et al., 1994) como as unidades litoestratigráficas que compõem a Sequência K50.

- **Formação Taipus Mirim, Membros Serinhaém e Igrapiúna.** Essas unidades foram depositados no final do Neoptiano (Neoalagoas), e devido as características paleontológicas, litológicas e palinofaciológicas são interpretadas como depósitos de ambiente marinho proximal, com circulação restrita de água marinha. Esta seqüência desenvolve-se principalmente em águas profundas, sendo de ocorrência escassa em águas rasas. Os depósitos de águas profundas podem chegar a desenvolver espessuras superiores a 1 Km, apresentando notável halocinese, chegando a constituir uma província de domos de sal. O Membro Serinhaém está formado por arenitos e folhelhos, e o Membro Igrapiúna é de composição evaporítica (anidrita). O contexto deposicional desta Seqüência tem sido objeto de discussão, com a proposição de modelos de bacias tipo *sag* (pouco controladas por falhas) e também mecanismos de compensação isostática flexural como os mecanismos responsáveis pela deposição da grande espessura dos evaporitos (BEDREGAL, 2005; GONTIJO et al., 2007).

1.5.5 Superseqüência drifte (SD, Seqüências K86-K90, K100-K130, E10, E20, E30-E50, E60-E70, E80-N30, N40-N50 e N60).

A superseqüência drifte compreende litoestratigraficamente a Formação Algodões do Grupo Camamu e as formações Urucutuca, Rio Doce, Caravelas e Barreiras do Grupo Espírito Santo (NETTO et al, 1994). São depósitos marinhos que evoluem de ambiente de plataforma rasa para ambiente marinho profundo, talude e planície abissal, finalizando um ciclo regressivo com a reimplantação de um novo ambiente de plataforma por progradação.

- **Formação Algodões, Membros Germânia e Quiepe, (SD-A; Sequencias K86-K90):** definida inicialmente por Fonseca (1964), é caracterizada por rochas carbonáticas classificadas como calcarenitos e calcirruditos em parte dolomitizados (Membro Germânia), e calcilitos com foraminíferos plantônicos (Membro Quiepe). Posuem idades desde o Albiano até o Cenomaniano com base em datações de foraminíferos, nanofósseis calcáreos e palinomorfos (NETTO et al., 1994). Os contatos inferiores (com a Formação Taipus-Mirim) e superiores (com a Formação Urucutuca) são discordantes (GONTIJO et al., 2007). A Formação Algodões pode ser correlacionada com o Grupo Barra Nova, que ocorre nas Bacias de Jequitinhonha, Cumuruxatiba e Espírito Santo, e com a Formação Riachuelo, que ocorre nas Bacias de Sergipe e Alagoas (GONTIJO et al., 2007; NETTO et al., 1994). Perfurações recentes em águas profundas da bacia comprovaram a existência de corpos turbidíticos confinados, associados a processos de halocinese.
- **Grupo Espírito Santo (SD-U),** são reconhecidos dois ciclos de segunda ordem, de caráter transgressivo na base (Formação Urucutuca) e regressivo ao topo (Formações Caravelas, Rio Doce e Urucutuca).

O ciclo transgressivo está constituído pelas seguintes seqüências:

- **Seqüências E10, E20 e E30-E50:** durante a deposição destas seqüências continua o caráter transgressivo da deposição marinha. O registro sedimentar do Paleoceno inferior até a base do Eoceno Médio apresenta discordâncias de expressão regional, e as seqüências estão compostas predominantemente por folhelhos, com intercalações de arenitos, margas, calcilutitos e calcarenitos. Esta associação caracteriza um ambiente nerítico profundo a batial (GONTIJO et al., 2007).

O Ciclo regressivo estaria constituído pelas seguintes seqüências:

- **Seqüências E60-E70, E80, N30 e N40-N50,** identificam uma sedimentação de caráter regressivo, implantada a partir do Neoeoceno e representada pela progradação dos sedimentos plataformais relacionados às formações Rio Doce, Caravelas e Barreiras sobre a fácies distais pertencentes à Formação Urucutuca. Esta última unidade apresenta composição essencialmente pelítica com delgados níveis de margas, calcarenitos e calcilutitos. O complexo Caravelas/Rio Doce está composto por clásticos grossos, de origem continental, com carbonatos geralmente bioclásticos. O pacote sedimentar englobado pelas Seqüências E60-E70 a N40-N50 é afetado por um fraco tectonismo distensional, representado por falhamentos lístricos de direção preferencial NNE-SSW (GONTIJO et al., 2007).
- **Seqüências N60,** de idade Pleistocênica a Holocênica, engloba os sedimentos clásticos de praias e aluviões, planícies de inundação, depósitos estuarinos e deltaicos vinculados aos rios Almada e de Contas (GONTIJO et al., 2007).

1.6 O sistema petrolífero da Bacia de Almada

A Bacia de Almada assim como as bacias vizinhas de Jequitinhonha, Recôncavo e Camamu comprovaram a presença de um sistema petrolífero ativo, embora com resultados exploratórios distintos. Diferentemente destas duas ultima bacias, a Bacia de Almada ainda não apresenta nenhuma acumulação de hidrocarboneto comercial em fase de desenvolvimento ou produção. As Bacias de Almada e Camamu compartilham os mesmos elementos constituintes do sistema petrolífero, como as rochas geradoras, rochas reservatórios, trapas ou armadilhas, rotas de migração e selos regionais. Na análise destes elementos foram considerados os dados disponibilizados publicamente pela ANP, trabalhos publicados por diversos autores e relatórios internos de empresas (ANP, 2005; GONÇALVES et al., 2001; GORDON, 2007 e MELLO et al., 1995).

- **Rochas Geradoras:** a principal rocha geradora conhecida está relacionada com a fácies pelítica, rica em matéria orgânica, da Formação Morro de Barro, e subordinadamente aos folhelhos da Formação Rio de Contas. Diferentes estudos de modelagem geoquímica indicam também capacidade geradora na fácies argilosas dos depósitos do Albiano, embora esta possibilidade ainda não tenha sido documentada. O maior volume de hidrocarbonetos gerados na bacia ocorreu até o final da fase rifte (GONÇALVES et al., 2001).
- **Rochas Reservatórios:** os reservatórios clássicos destas bacias estão constituídos pelos arenitos das Formações Sergi, Morro de Barro e Rio de Contas. Depósitos turbidíticos na seção marinha da Formação Urucutuca apresentam condições potenciais como rochas reservatórios. Embora as acumulações de hidrocarboneto nestes turbiditos ainda não estejam comprovadas, estudos exploratórios atualmente em andamento objetivam testar esta hipótese (GORDON, 2007).
- **Trapas:** As principais estruturas testadas ou identificadas na sísmica 2D e 3D são as estruturas geradas por processos extensionais relacionadas aos episódios tectônicos da fase

rifte. Como exemplo deste tipo de estruturas controladas pelo embasamento cristalino, podem mencionar-se fechamentos anticlinais em três e quatro direções, rotação de blocos e antiformais relacionados a falhamento lístrico profundo. Na parte leste da bacia, na área de águas profundas, identificam-se estruturas vinculadas à movimentação de sal (halocinese), falhamentos listricos descolados na seção evaporítica, diápiros de folhelhos e estruturas homoclinais que afetam principalmente as secções do pós-rifte e do drifte.

- **Migração:** Os principais mecanismos de migração conhecidos nas Bacias de Camamu e Almada são mediante o contato direto e as falhas que conectam os corpos arenosos da Fm. Morro de Barro com os folhelhos geradores da mesma formação, como pode observar-se nos campos de Sardinha e Camarão localizados na Bacia de Camamu. Já nos reservatórios da Fm. Sergi admitem-se migrações mais longas, por planos de falhas que conectam os geradores Itaípe, Rio de Contas e Morro de Barro, como pode ser observado nos campos de Manati, Camarão, Pinauna e Jequitibá (GORDON, 2007).
- **Rochas Selantes:** os principais selos da Bacia de Almada estão constituídos pelos folhelhos intraformacionais das unidades Urucutuca, Morro de Barro e Rio de Contas, para os reservatórios homônimos. A fácies pelíticas da Formação Itaípe constituem o principal selo dos reservatórios da Fm. Sergi.