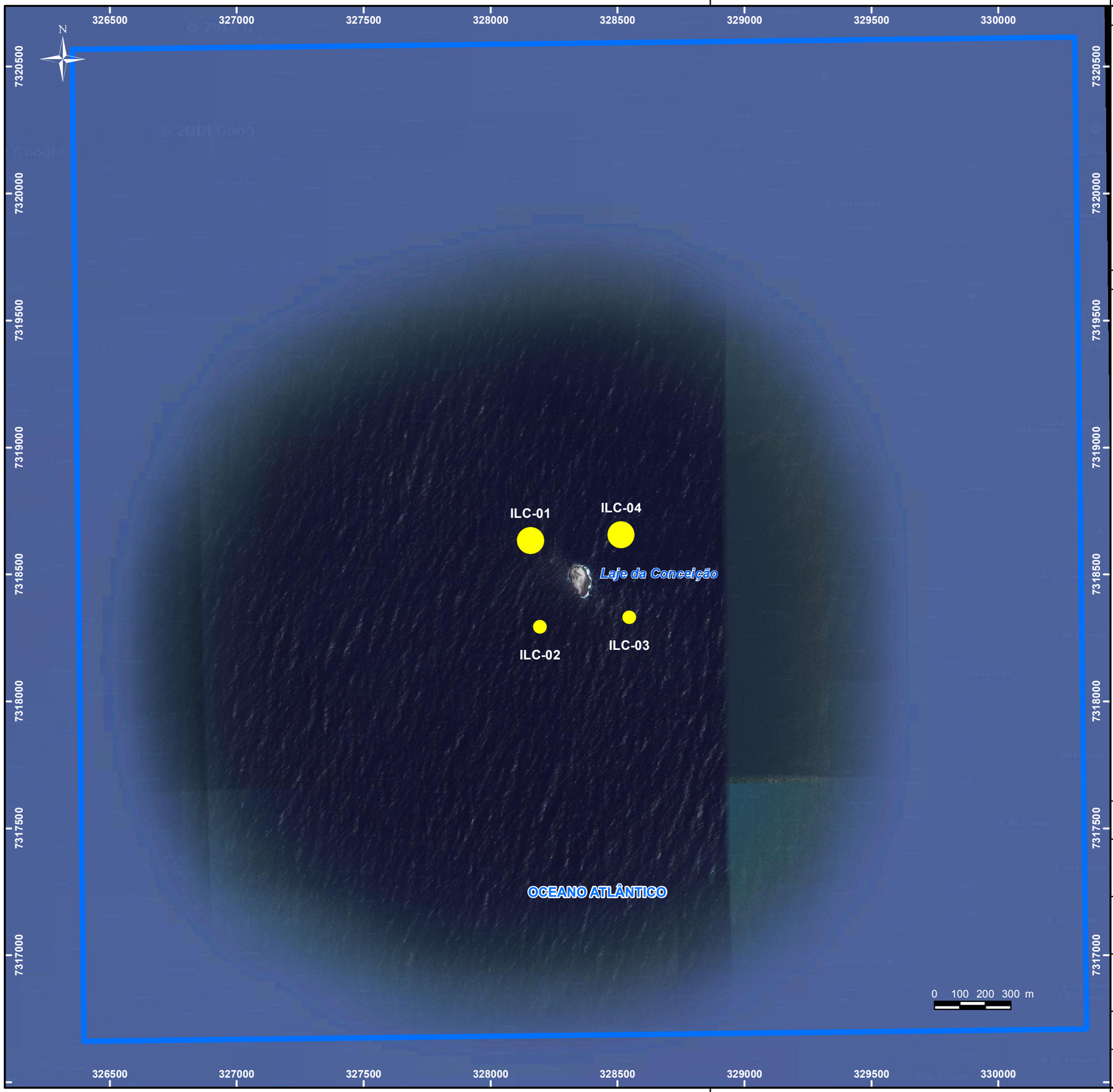
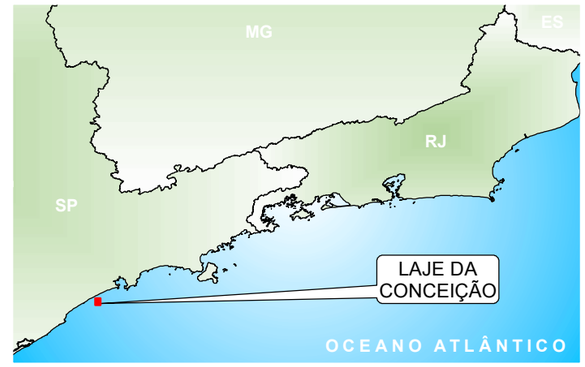


Macrolocalização



Legenda

Área de Manejo Especial da Laje da Conceição

Qualidade do Sedimento

Ba (mg/Kg)

- 9,163 - 16,178
- 16,179 - 23,193

Referências

IBGE, 2007; Google Earth Pro, 2012.

PETROBRAS | Habtec Mott MacDonald

Projeto

AVALIAÇÃO ECOLÓGICA RÁPIDA

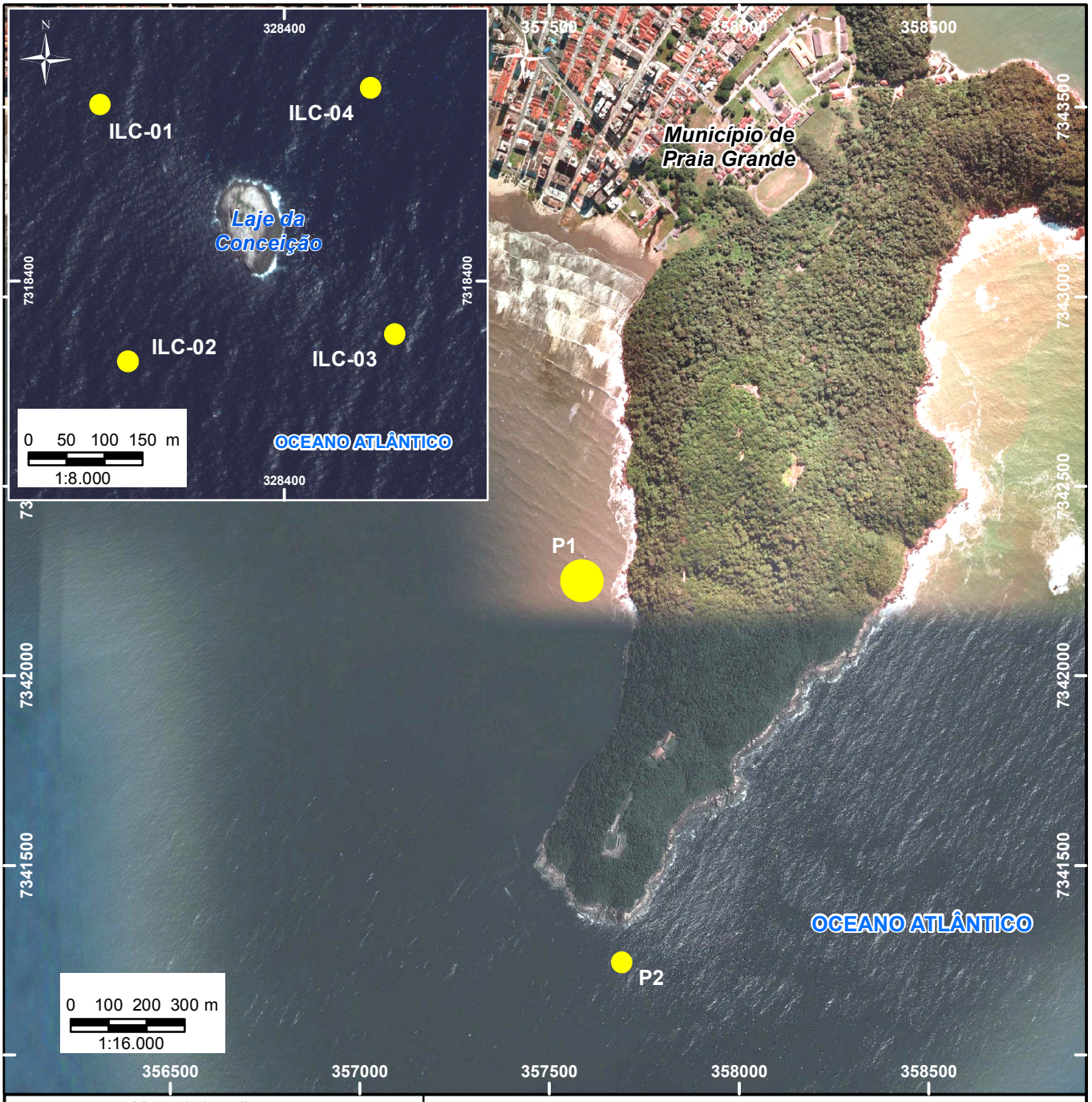
Título

CONCENTRAÇÃO DE BÁRIO NOS SEDIMENTOS DE ADJACENTES A LAJE DA CONCEIÇÃO

Projeção	Datum	Escala
UTM - Zona 23S	SIRGAS 2000	1:15.000

Data	Número	Autor	Revisão
Março, 2015	Mapa 2.4.2.2-14	Leonardo Dias	02

Mapa 2.4.2.2-15 - *Concentração de zinco (Zn) nos sedimentos adjacentes a Laje da Conceição.*



Mapa de Localização



Legenda

Qualidade do Sedimento

Zn (mg/Kg)

- 12,48 - 80,30
- 80,31 - 148,12

Notas:
1 - Referência dos pontos ILC 01 ao 04: Presente Estudo
2 - Referência do ponto P6: Araujo et al., 2013

PETROBRAS

Habtec Mott MacDonald

Referências
IBGE, 2007; Google Earth Pro, 2012.

Projeto
AVALIAÇÃO ECOLÓGICA RÁPIDA

Título
CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NOS SEDIMENTOS DE ADJACENTES A LAJE DA CONCEIÇÃO

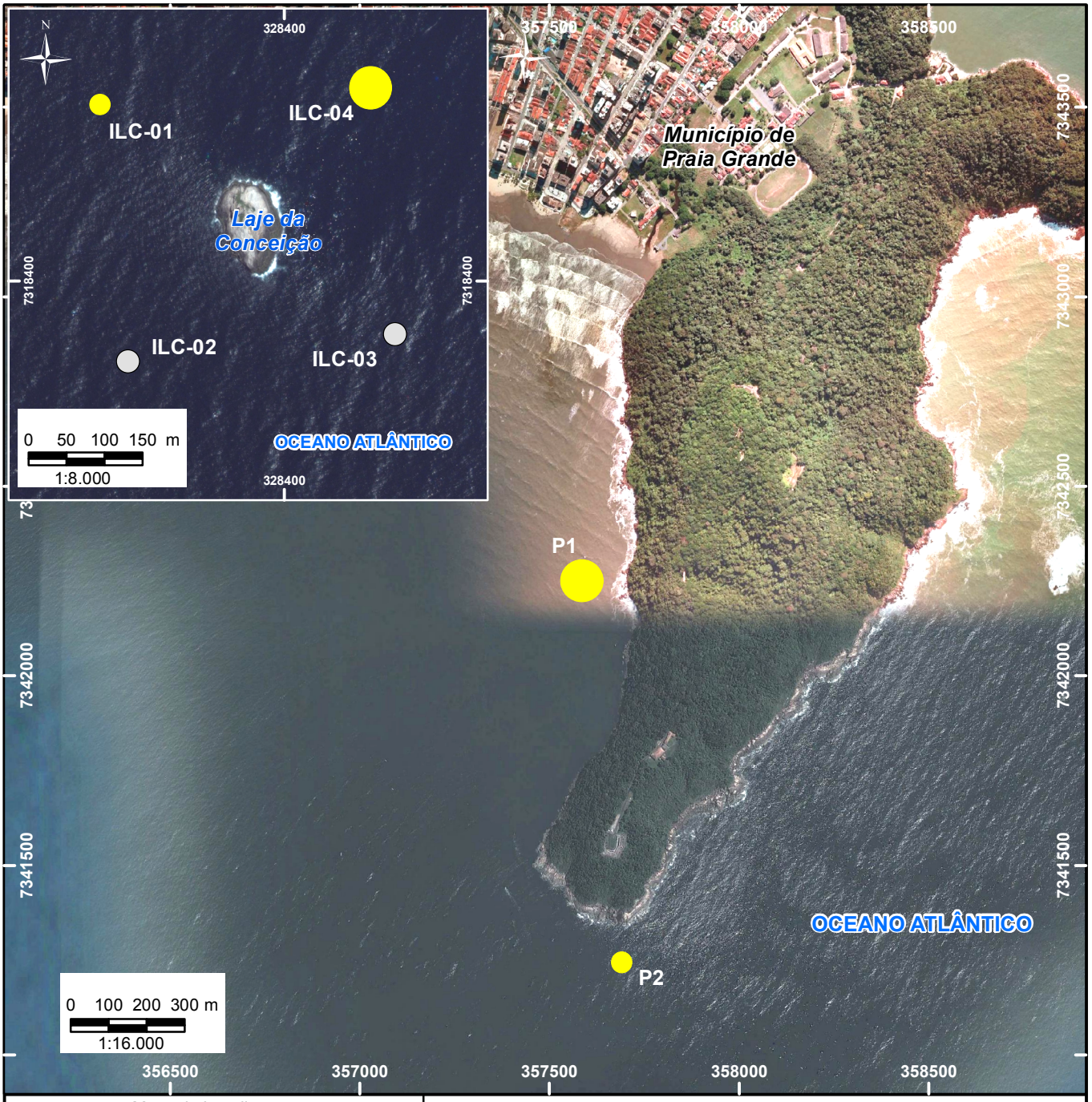
Projeção	Datum	Escala	Data	Número	Autor	Revisão
UTM	SIRGAS 2000	INDICADA	Março, 2015	Mapa 2.4.2.2-15	Leonardo Dias	02

A concentração de alumínio no sedimento oscilou entre 5.344,2 e 50.726,8 mg/kg, enquanto para o ferro as concentrações variam de 7.614,4 a 58.388,2 mg/kg.

No tocante ao cromo e manganês, foram observadas concentrações entre 14,8 e 43,6 mg/kg e 98,9 e 461,9 mg/kg. Enquanto o chumbo oscilou entre 5,4 e 17,2 mg/kg e o bário de 9,2 a 23,2 mg/kg. Já o níquel apresentou concentrações entre 3,1 e 11,7 mg/kg.

Os metais arsênio e mercúrio não foram detectados em nenhuma das amostras coletadas na área de interesse, enquanto o cádmio foi detectado apenas na estação ILC-04, com concentração de 0,42 mg/kg (Mapa 2.4.2.2-16).

Mapa 2.4.2.2-16 - *Concentração de cádmio (Cd) nos sedimentos adjacentes a Laje da Conceição.*



Mapa de Localização



Legenda

Qualidade do Sedimento

Cd (mg/Kg)

- 0,000 - 0,020
- 0,036 - 0,730
- Não Detectado (< LD)

Notas:
1 - Referência dos pontos ILC 01 ao 04: Presente Estudo
2 - Referência do ponto P6: Araujo et al., 2013

PETROBRAS

Habtec Mott MacDonald

Referências
IBGE, 2007; Google Earth Pro, 2012.

Projeto
AVALIAÇÃO ECOLÓGICA RÁPIDA

Título
CONCENTRAÇÃO DE CÁDMIO NOS SEDIMENTOS DE ADJACENTES A LAJE DA CONCEIÇÃO

Projeção	Datum	Escala	Data	Número	Autor	Revisão
UTM	SIRGAS 2000	INDICADA	Março, 2015	Mapa 2.4.2.2-16	Leonardo Dias	02

Nas Figuras 2.4.2.2-14 e 2.4.2.2-15 é feita a comparação das concentrações de metais no entorno da ilha aos respectivos valores orientadores TEL e PEL. Conforme mostrado, em nenhuma das estações foi excedido os níveis de concentração de metais em que são observados efeitos tóxicos sobre a biota aquática.

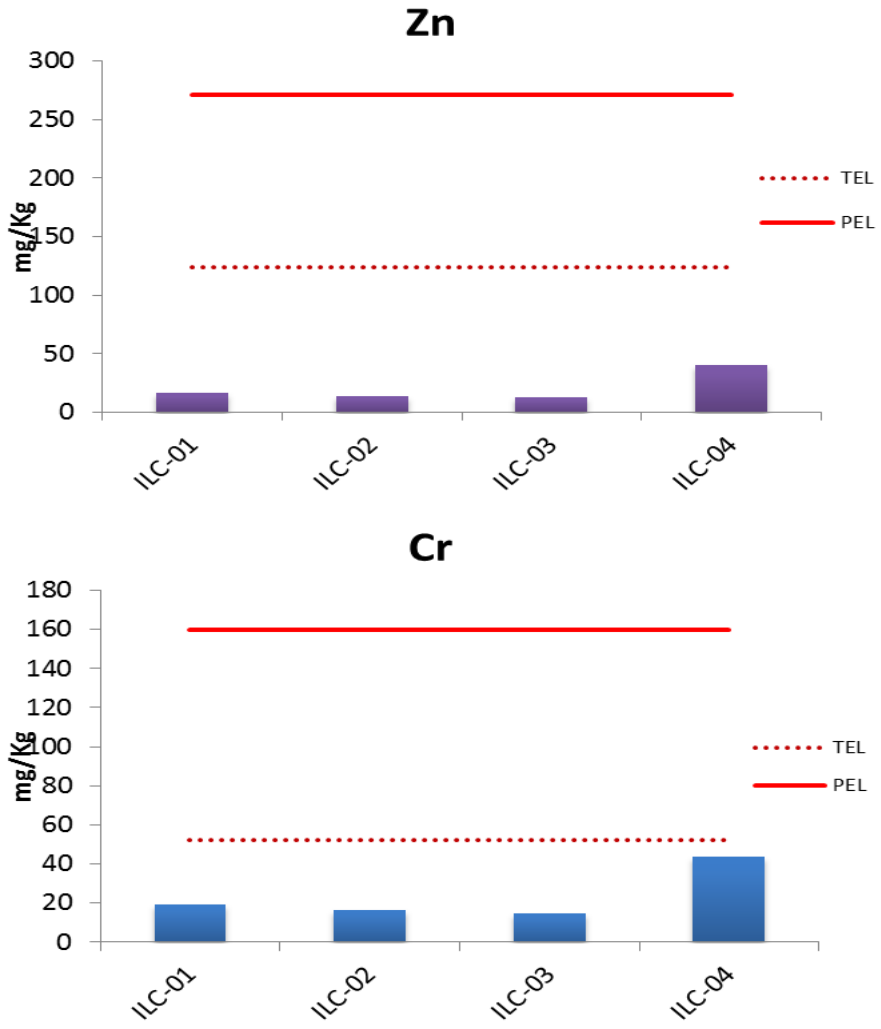


Figura 2.4.2.2-14 - *Distribuição de Zn e Cr nos sedimentos de entorno da Laje da Conceição e sua comparação com os valores guias TEL e PEL.*

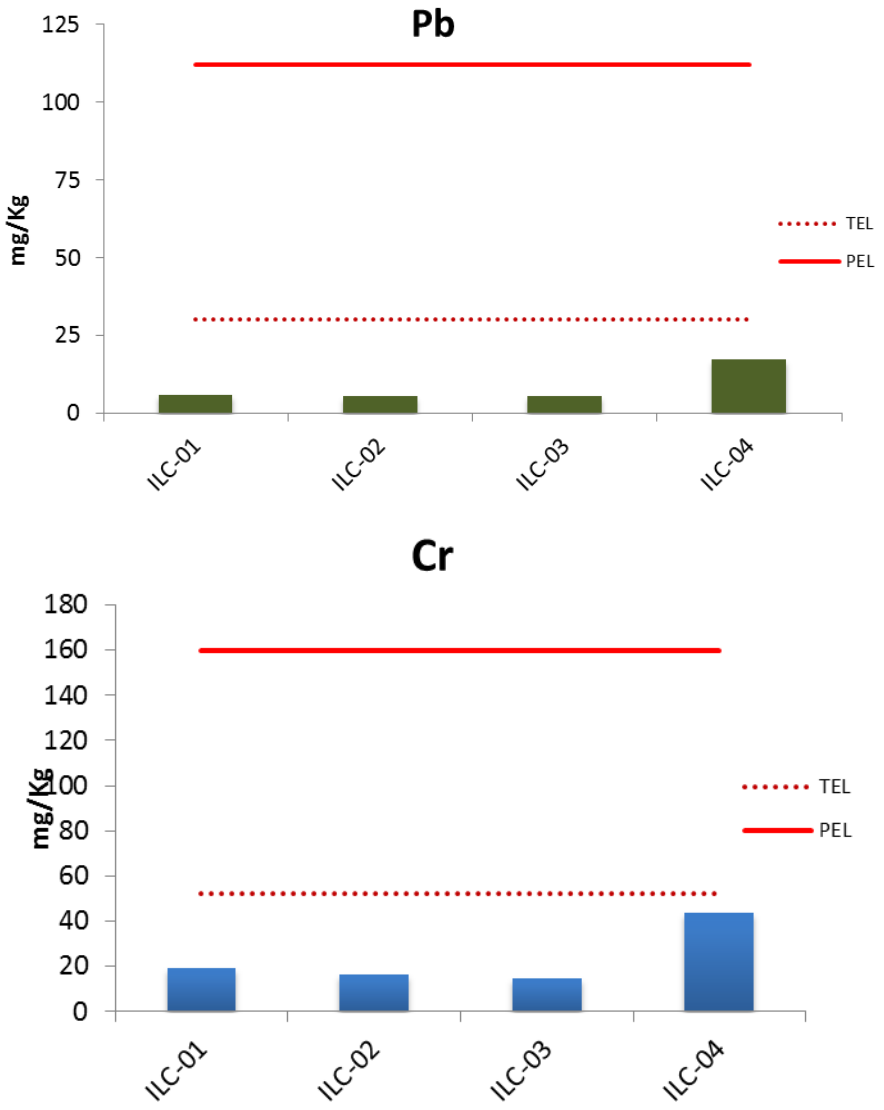


Figura 2.4.2.2-15 - *Distribuição de Pb e Cr nos sedimentos de entorno da Laje da Conceição e sua comparação com os valores guias TEL e PEL.*

e) Hidrocarbonetos policiclícos aromáticos (HPAs) e Hidrocarbonetos totais de petróleo (HTPs)

Os hidrocarbonetos podem ser transportados para os sedimentos por adesão ou incorporação ao material particulado e ao plâncton (VAN VLEET & QUINN, 1979), representando um grande risco para a biota aquática, principalmente para espécies bentônicas e epibentônicas, que ficam expostas aos contaminantes de origem sedimentar e àqueles dissolvidos na água intersticial. A ressuspensão do

sedimento pode provocar a liberação desses contaminantes sob forma dissolvida na coluna d'água ou adsorvida a partículas, colocando também em risco os organismos pelágicos, que podem ainda ser contaminados devido ao processo de bioacumulação (GEFFARD *et al.*, 2002).

Na amostragem efetuada na Laje da Conceição, as concentrações de HPAs nos sedimentos foram extremamente baixas. Dentre os 16 compostos analisados apenas fenantreno e fluoranteno apresentaram concentrações detectáveis nos sedimentos (Quadro 2.4.2.2-7). As concentrações de fenantreno variaram entre <0,10 (ILC-01) e 0,14 mg/kg (ILC-04). Já o fluoranteno foi detectado apenas na estação ILC-04 (<0,10 mg/kg).

Durante a amostragem efetuada em fevereiro de 2014, a concentração de HPAs no sedimento esteve de acordo com o limite estabelecido pela Resolução CONAMA n^{o} 454/2012 (4000 mg/kg),

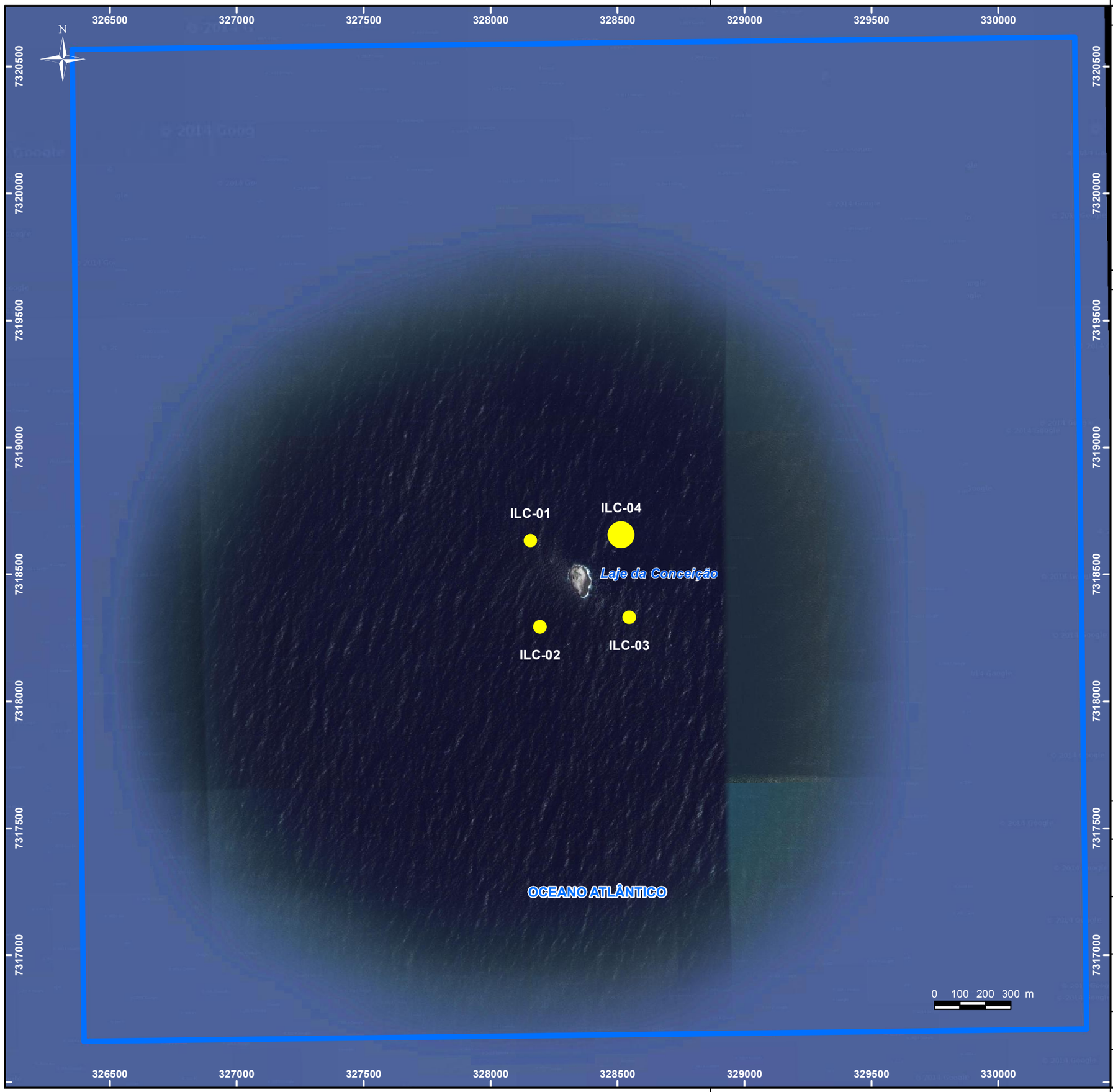
No caso dos HTPs, as concentrações oscilaram de 3 a 15 mg/kg, com concentrações mais elevadas na estação ILC-04 (Mapa 2.4.2.2-17).

Para estes compostos, não existem dados históricos de contaminação dos sedimentos da região.

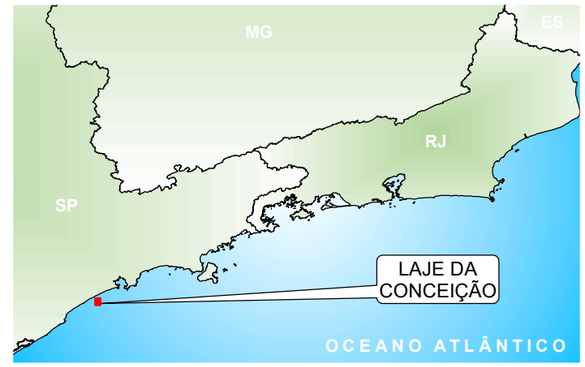
Quadro 2.4.2.2-7 - *Concentrações compostos orgânicos nos sedimentos superficiais do entorno da Ilha da Laje da Conceição.*

COMPOSTO (mg/kg)	PONTO			
	ILC-01	ILC-02	ILC-03	ILC-04
Naftaleno	nd	nd	nd	nd
Acenaftileno	nd	nd	nd	nd
Acenafteno	nd	nd	nd	nd
Fluoreno	nd	nd	nd	nd
Fenantreno	<0,010	nd	nd	0.014
Antraceno	nd	nd	nd	nd
Fluoranteno	nd	nd	nd	<0,010
Pireno	nd	nd	nd	nd
Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	nd
Criseno	nd	nd	nd	nd
Benzo(b)fluoranteno	nd	nd	nd	nd
Benzo(K)fluoranteno	nd	nd	nd	nd
Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd
Indeno(1,2,3,cd)Pireno	nd	nd	nd	nd
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd
Benzo(g,h,i)perileno	nd	nd	nd	nd
HTP- total	3	3	4	15

Mapa 2.4.2.2-17 - *Concentração de HTP nos sedimentos adjacentes a Laje da Conceição.*



Macrolocalização



Legenda

Área de Manejo Especial da Laje da Conceição

Qualidade do Sedimento

HTP (mg/Kg)

- 3 - 9
- 10 - 15

Referências

IBGE, 2007; Google Earth Pro, 2012.

PETROBRAS | Habtec Mott MacDonald

Projeto

AVALIAÇÃO ECOLÓGICA RÁPIDA

Título

CONCENTRAÇÃO DE HIDROCARBONETOS TOTAIS DO PETRÓLEO NOS SEDIMENTOS DE ADJACENTES A LAJE DA CONCEIÇÃO

Projeção	Datum	Escala
UTM - Zona 23S	SIRGAS 2000	1:15.000

Data	Número	Autor	Revisão
Março, 2015	Mapa 2.4.2.2-17	Leonardo Dias	02

2.4.2.3 - Contaminação da Biota Aquática

Os resultados das análises dos tecidos de *Ucides cordatus* retirados do estudo conduzido por Carmo *et al*. (2004) mostrou um resultado similar ao obtido nas análises de sedimento, com altas concentrações de As e níveis dos demais elementos abaixo dos limites de detecção (Tabela 3). Animais coletados no Bosque (259 $\mu g.g^{-1}$) apresentaram níveis mais altos que aqueles provenientes do Bosque 2.

A possibilidade de ocorrência de efeitos nocivos devido à contaminação do sedimento foi confirmada pelo resultado do teste de toxicidade. Foi observada uma diminuição na taxa de fecundidade dos copépodos da espécie *Nitokra* sp., expressa como produção de prole, indicando toxicidade crônica. Os efeitos causados pelo sedimento do Bosque 2 foram mais severos, sugerindo que nesse local a contaminação possui forte potencial para alterar o ecossistema (Figura 2.4.2.3-1).

Para realização dos testes de toxicidade para comunidade bentônica, no estudo de Seriani *et al*. (2006), foram coletadas amostras em três pontos do estuário do Rio Itanhaém. De acordo com o teste de toxicidade realizado com sedimento integral, a sobrevivência de *Tiburonella viscana* variou de 13 a 80%. Dentre as amostras, a coletada no Ponto 2 foi considerada significativamente tóxica, com percentual médio de sobrevivência de 13% (Figura 2.4.2.3-2).

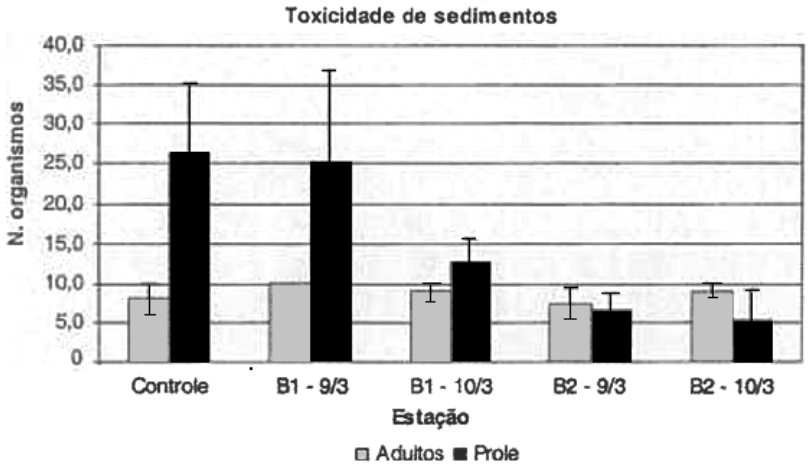


Figura 2.4.2.3-1 - *Resultados do teste de toxicidade do sedimento com Nitokra sp, após 10 dias de exposição.*
Fonte: Carmo et al. (2004).

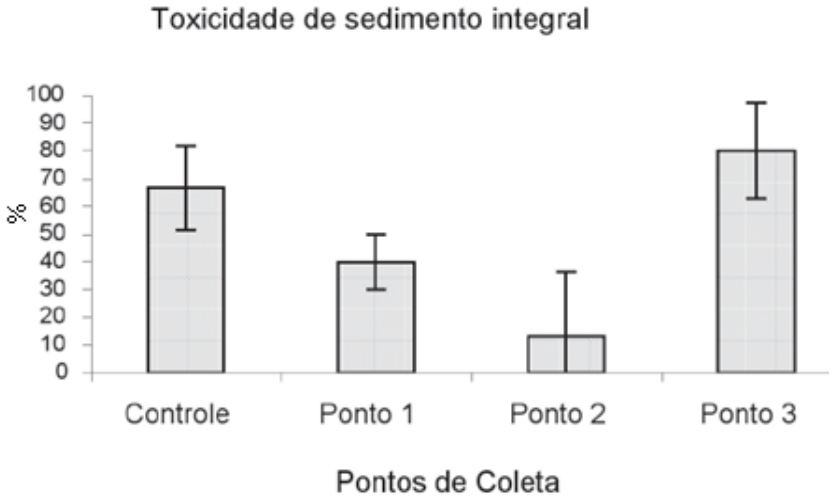


Figura 2.4.2.3-2 - *Resultados do teste de toxicidade realizados no sedimento integral do Rio Itanhaém.*
Fonte: Seriani *et al*. (2006)

2.4.2.4 - Considerações Finais

A partir do levantamento de dados foi verificada uma reduzida disponibilidade de dados de qualidade de água e dos sedimentos na região da Ilha da Laje da Conceição e adjacências o que não permitiu uma abordagem mais aprofundada dos parâmetros necessários a sua caracterização.

A partir dos dados primários adquiridos foi verificado que as concentrações de clorofila, nutrientes nitrogenados, silicatos, HPAs e valores de pH estão dentro da faixa estabelecida na literatura para regiões costeiras e oceânicas. Contudo, apresentam valores insatisfatórios para oxigênio dissolvido, fosfato e fósforo total (ILC04), segundo Resolução CONAMA N^{o} 357/2005 para águas salinas classe 1.

Por fim, em função das lacunas do conhecimento indicadas, não foi possível inferir se os valores de OD e de nutrientes fosforados, são indicativos de processos de eutrofização ou se os níveis encontrados na região são naturais e relacionados a processos de dissolução de gases na água ou a assinatura da água costeira ou decorrentes do processo de lavagem de excremento de aves depositado sobre o costão da ilha.

No tocante a qualidade do sedimento, o entorno da Laje da Conceição parece seguir os mesmos padrões descritos por Araujo *et al.* (2013) para os sedimentos superficiais do Parque Estadual Xixová – Japuí, onde a distribuição da Matéria Orgânica e da granulometria estão relacionadas às condições hidrodinâmicas da Baía de Santos, sendo verificada a atuação de ondas e da maré na distribuição e retrabalho dos grãos e na redução da acumulação de matéria orgânica no sedimento. No caso da Laje da Conceição a fração arenosa foi dominante nas estações ILC-01, ILC-02 e ILC-03 (75%), e a predominância das frações silte e argila, como também as maiores concentrações de matéria orgânica foram verificadas apenas na estação ILC-04, localizada na face NE da ilha, onde são verificadas condições de menor hidrodinamismo.

As características observadas para a distribuição da Matéria Orgânica e da granulometria na Laje da Conceição também podem ter influenciado os maiores valores obtidos para as concentrações de metais na face NE da ilha (ILC-04), considerando que as maiores concentrações de metais pesados são encontradas em sedimentos com granulometriafina (< 63 µm) e com elevadas concentrações de matéria orgânica (Paul *et al*. 1994). Entretanto, para nenhum dos compostos avaliados foi evidenciado potencial de toxicidade do sedimento para biota marinha.

Por fim, ressalta-se que as condições observadas na face NE da ilha (ILC-04), com a presença de lama fluida e sedimentos com características esturarinas, competem à área maior turbidez da água, podendo dificultar a visibilidade dos componentes da fauna e flora e consequentemente o levantamento de dados primários para os diagnósticos de bentos e da ictiofauna, através da avistagem pelos mergulhadores e obtenção de imagens pelo ROV (Remotely Operated Underwater Vehicle) e fotografias.

2.4.3 - Oceanografia Geológica

2.4.3.1 - Introdução

O presente relatório visa abordar o contexto geológico em que se insere a Ilha da Laje da Conceição, situada a pouco mais de 10 quilômetros de distância da linha de costa do município do Itanhaém-SP, nas coordenadas geográficas 24°15’ Sul - 46°40’ Oeste.

Foram utilizados dados provenientes de publicações científicas voltadas para o litoral sudeste do Brasil, e particularmente do estado de São Paulo, que abriga a Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro (APAMLC).

A Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro, em cujos domínios está inserida a Laje da Conceição, está situada na porção intermediária da litoral do estado de São Paulo, margeando a região da Baixada Santista e extremo norte do litoral sul paulista (Figura 2.4.3.1-1).

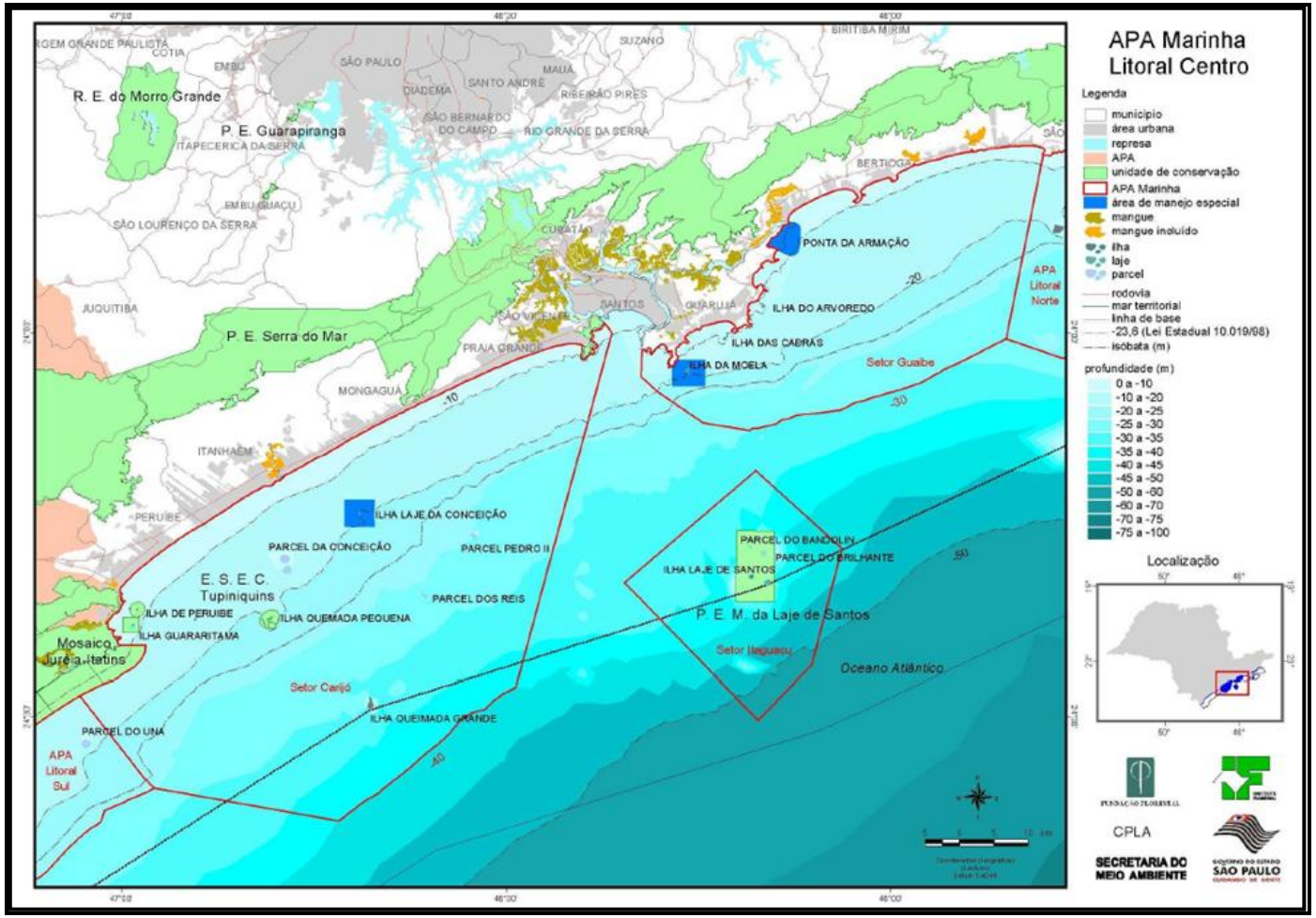


Figura 2.4.3.1-1 - *Mapa da porção intermediária do litoral paulista mostrando os limites da Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro e os três setores que a compõem.*
Fonte: Decreto n° 53.526, de 08 de outubro de 2008.

Os parâmetros investigados e abordados na avaliação da oceanografia geológica englobam: (i) geologia regional; (ii) arcabouço estrutural; (iii) estratigrafia; (iv) caracterização fisiográfica continental e oceânica e (v) exploração mineral na região de estudo e adjacências, e serão apresentados nos tomos a seguir.

2.4.3.2 - Geologia Regional

A Ilha da Laje da Conceição, diminuta fração de terra emersa de frente para o município de Itanhaém, encontra-se na extremidade da plataforma continental da Bacia de Santos, a cerca de dez quilômetros de distância da margem continental representada pela linha de costa do litoral paulista. Tal proximidade torna oportuno salientar as características tanto da parcela marinha quanto do continente adjacente.

A margem continental na porção sudeste do Estado de São Paulo é formada por compartimentos tectônicos entrecortados por significativas zonas de cisalhamento, e está instalada na Província Mantiqueira (Almeida *et al*., 1977).

Este sistema poliorogênico neoproterozóico (Almeida *et al*., 1973; Brito Neves & Cordani 1991) abrange a parte mais a leste dos territórios das regiões Sul e Sudeste do Brasil, delineando uma faixa de direção NE-SW por 3000 km, paralela à costa atlântica brasileira. Ele engloba os orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel, que se distribuem desde o sul do Estado da Bahia até o Uruguai, totalizando uma área de cerca de 700.000 km^2. A Laje da Conceição é geneticamente vinculada ao Domínio Costeiro da porção centro-sul da Faixa Ribeira (Figura 2.4.3.2-1).

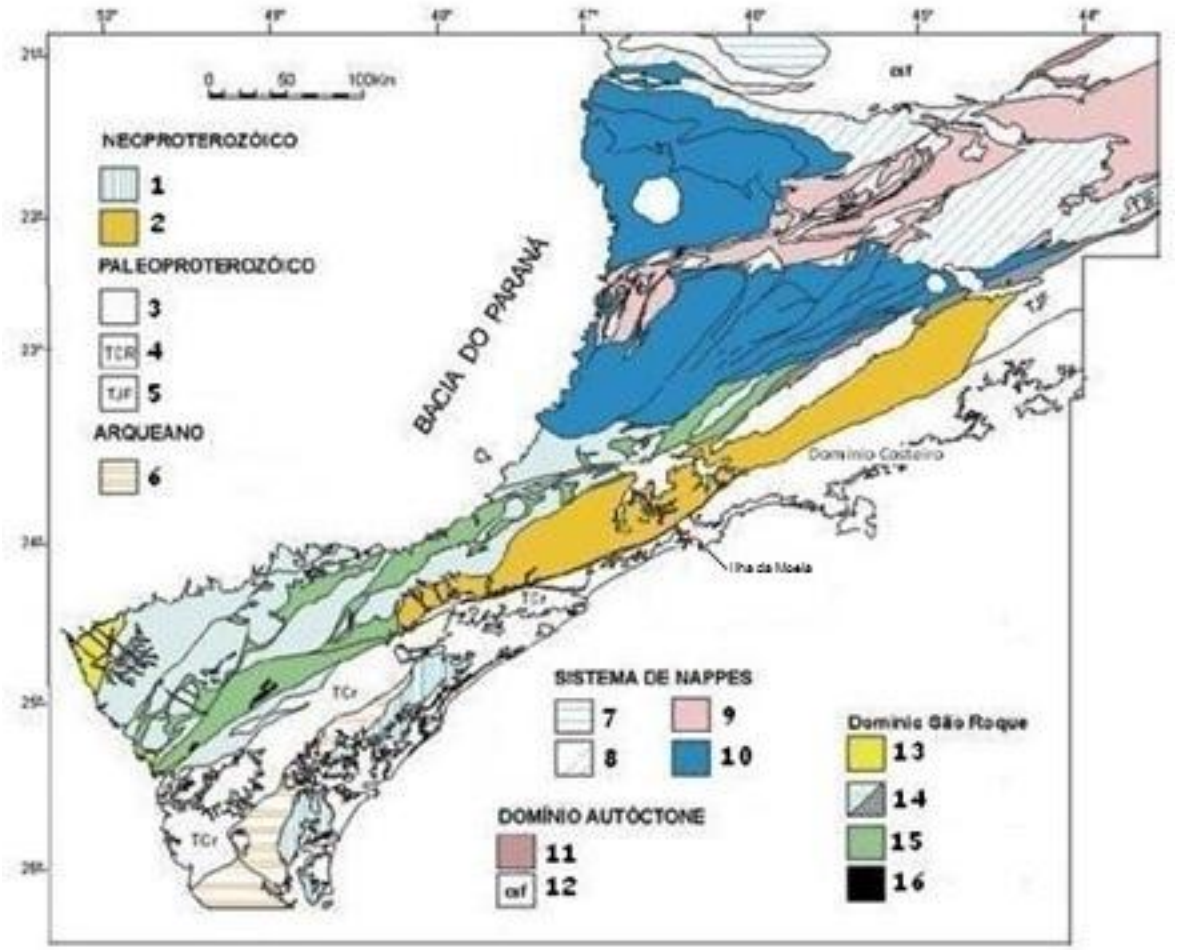


Figura 2.4.3.2-1 - *Mapa tectônico da porção centro-sul da Faixa Ribeira e unidades associadas.*

(Adaptado de Mantesso-Neto *et al*., 2004). 1. Terreno Paranaguá; 2. Domínio Embu; 3. Domínio Costeiro; 4. Terreno Curitiba; 5. Terreno Juiz de Fora; 6. Terreno Luiz Alves; 7. Nappe de Passos (Neoproterozóico); 8. Nappes Andrelândia (Neoproterozóico); 9. Terrenos alóctones arqueanos e paleoproterozóicos; 10. Nappe de Socorro-Guaxupé (Neoproterozóico); 11. Grupo São João del Rei (Meso-Paleoproterozóico); 12. Cráton São Francisco (Arqueano-Paleoproterozóico); 13. Cambriano Inferior; 14. Neoproterozóico; 15. Mesoproterozóico; 16. Paleoproterozóico.

A Bacia de Santos encontra-se na porção sudeste da margem continental brasileira, defronte aos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina. Ocupa uma área de aproximadamente 272.000 km² até a cota batimétrica de 3.000 m, situando-a entre as maiores bacias sedimentares do Brasil (Papaterra, 2010). É limitada a sul pelo Alto de Florianópolis, que a separa da Bacia de Pelotas, e a norte pelo Alto de Cabo Frio, que a separa da Bacia de Campos (Figura 2.4.3.2-2).

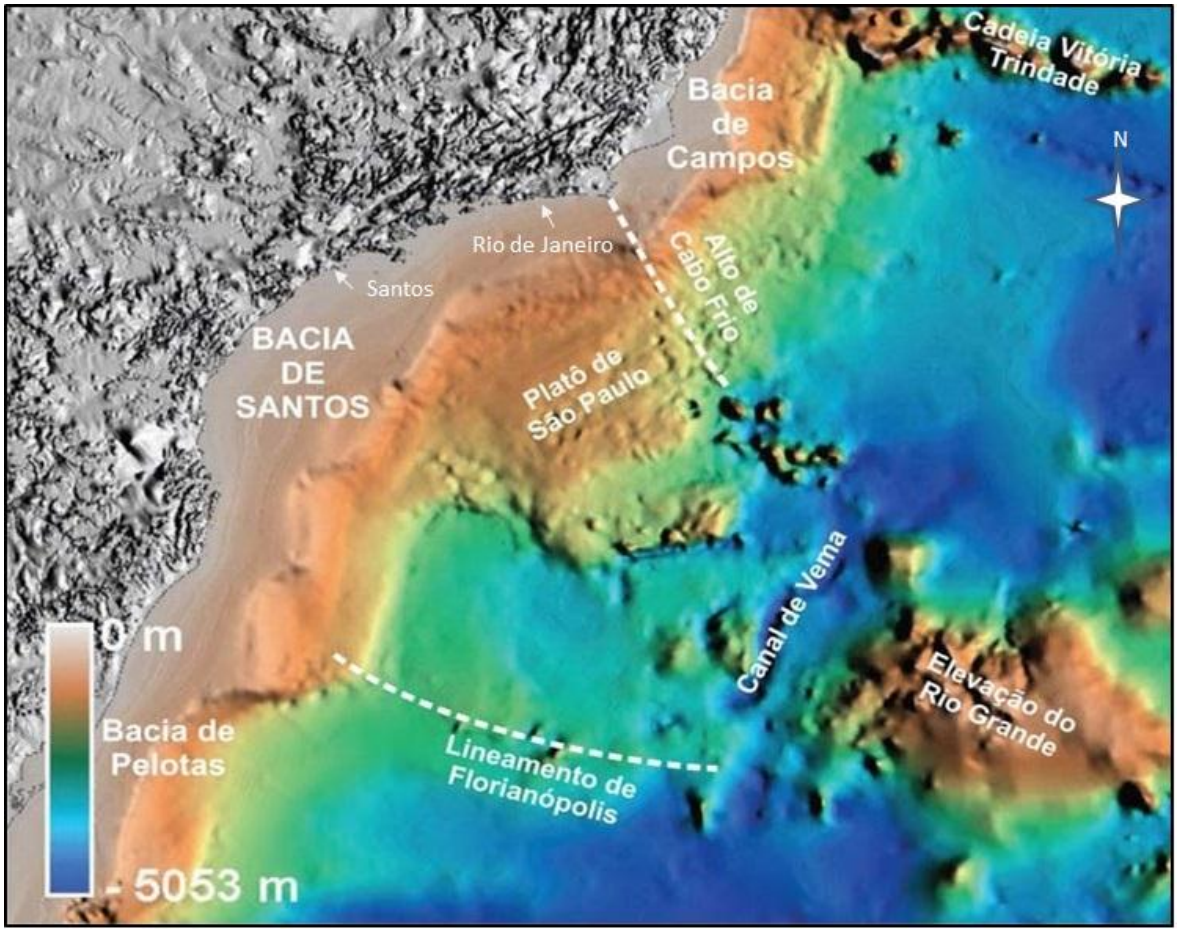


Figura 2.4.3.2-2 - *Localização e batimetria da Bacia de Santos no litoral sudeste brasileiro.*
Fonte: Modificado de Mohriak, 2003.

Sua origem, a exemplo das demais bacias sedimentares da margem continental leste brasileira, relaciona-se com o processo de fragmentação do supercontinente Gondwana no Cretáceo Inferior. Neste período, há cerca de 140 milhões de anos, desencadeou-se o processo de ruptura das placas sulamericana e africana e consequente abertura do Oceano Atlântico Sul.

A evolução da Bacia de Santos foi típica de bacias de margem passiva, similar às demais bacias sedimentares mesozoicas da margem continental do sul e sudeste brasileiro. O seu desenvolvimento é dividido em três sequências básicas: clástica não marinha (rifte), evaporítica (transicional) e marinha (drifte), sendo a última subdividida nas sequências carbonática, transgressiva e regressiva (CHANG E KOWSMANN, 1987 *apud* MOHRIAK, 2003). O preenchimento sedimentar grada no sentido leste para uma cunha sedimentar

depositada sobre a crosta oceânica do Atlântico Sul. O limite oeste é contra rochas metamórficas do embasamento.

O estabelecimento de falhas como resposta aos esforços distensivos e do afinamento experimentados pela crosta terrestre e, posteriormente, a evolução da tectônica adiastrófica (halocinese) foram importantes na orientação das áreas preferenciais de captação de turbiditos e no controle da migração e acumulação de grandes volumes de hidrocarbonetos na Bacia de Santos.

Um modelo esquemático do contexto geológico da Bacia de Santos é exibido na Figura 2.4.3.2-3.

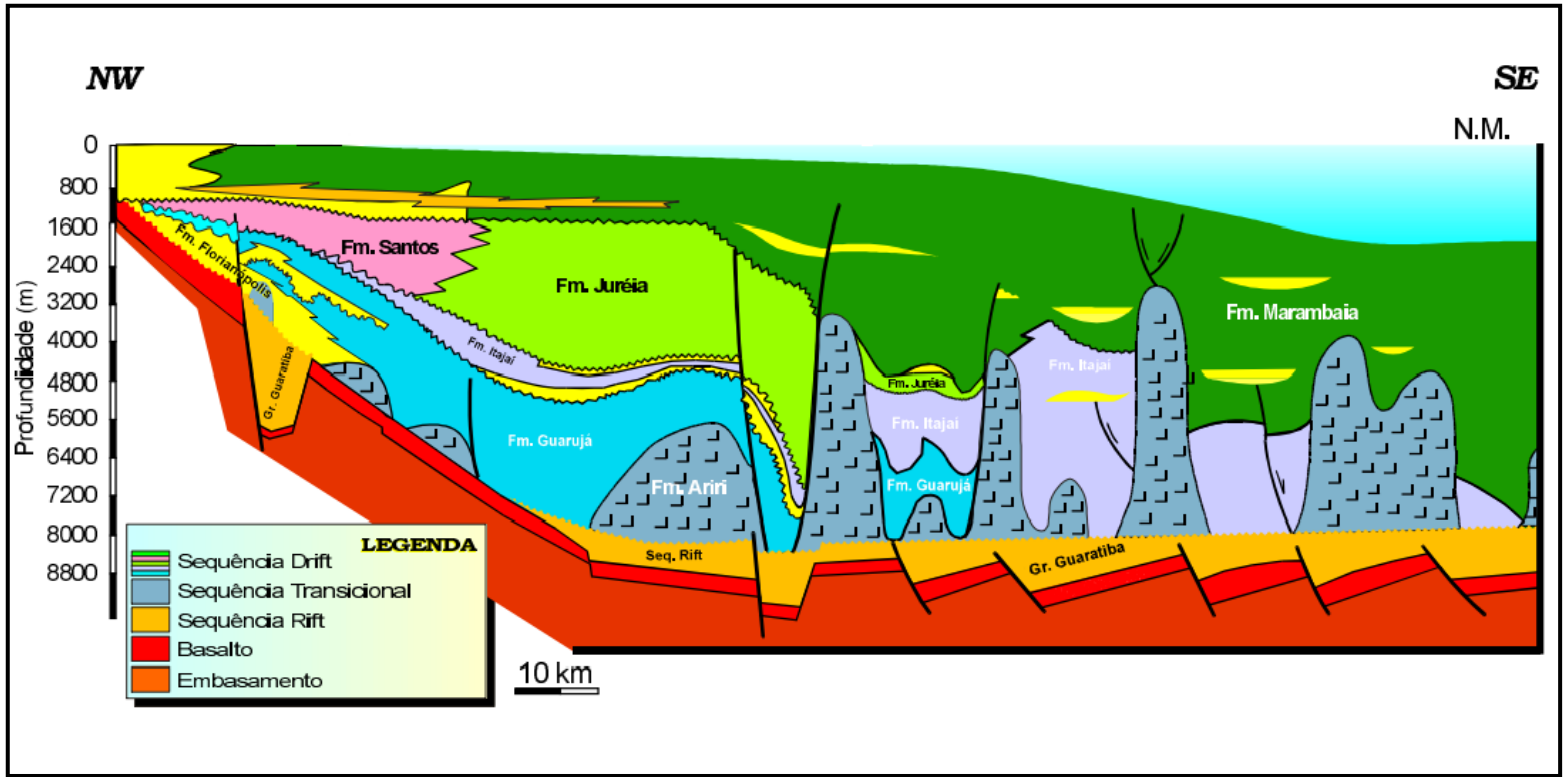


Figura 2.4.3.2-3 - *Modelo geológico esquemático da Bacia de Santos.*
Modificado de ANP (2013).

2.4.3.3 - Arcabouço Estrutural

a) Faixa Ribeira

O segmento centro-sul da Faixa Ribeira, situado essencialmente no Estado de São Paulo, sugere uma prolongada evolução orogênica, entre 650 e 480 Ma (Dias Neto, 2001). Baseado em dados cronológicos, é dividido em três domínios geológicos distintos – Costeiro, Embu e São Roque (Figura 2.4.3.2-1) - que são separados por significativas zonas de cisalhamento de extensão regional e diferem entre si pelas idades dos respectivos protólitos crustais, assembléias litológicas e evolução geológica (TASSINARI, 2001).

O Domínio Costeiro consiste de terrenos paleoproterozóicos, enquanto o Domínio Embu é formado por crosta arqueana a paleoproterozóica. Ambos foram intensamente retrabalhados durante o Brasiliano, com ocorrência de metamorfismo de alto grau e fusão parcial das litologias. O Domínio São Roque, que aloja os grupos Serra do Itaberaba e São Roque (Juliani *et al*., 2000; Hackspacher *et al*., 2000), é formado por sequências metavulcanossedimentares meso a neoproterozoicas de baixo e médio graus. O Grupo São Roque, em particular, foi interpretado como sendo desenvolvido em ambiente de retroarco sobre crosta continental (Sadowski & Tassinari, 1988; Hackspacher *et al*., 2000). Apesar da existência de unidades neoproterozóicas análogas a suítes ofiolíticas na porção setentrional da Faixa Ribeira, modelos tectônicos disponíveis de sua faixa centro-sul (Sadowski & Tassinari 1988; Trompette 1994, Hackspacher *et al*., 2000) indicam a interação exclusivamente entre massas continentais no decorrer dos eventos no Brasiliano.

O Domínio Embu compreende a região a norte da Zona de Cisalhamento Cubatão (ou Falha de Cubatão) de extensão regional (Figura 2.4.3.3-1). Trata-se de uma sequência metassedimentar intrudida por granitos tardios e com núcleos migmatizados, composta por micaxistos, paragnaisses, metacalcários, quartzitos e filitos metamorfizados em médio e alto graus (ALMEIDA & CARNEIRO,1998).

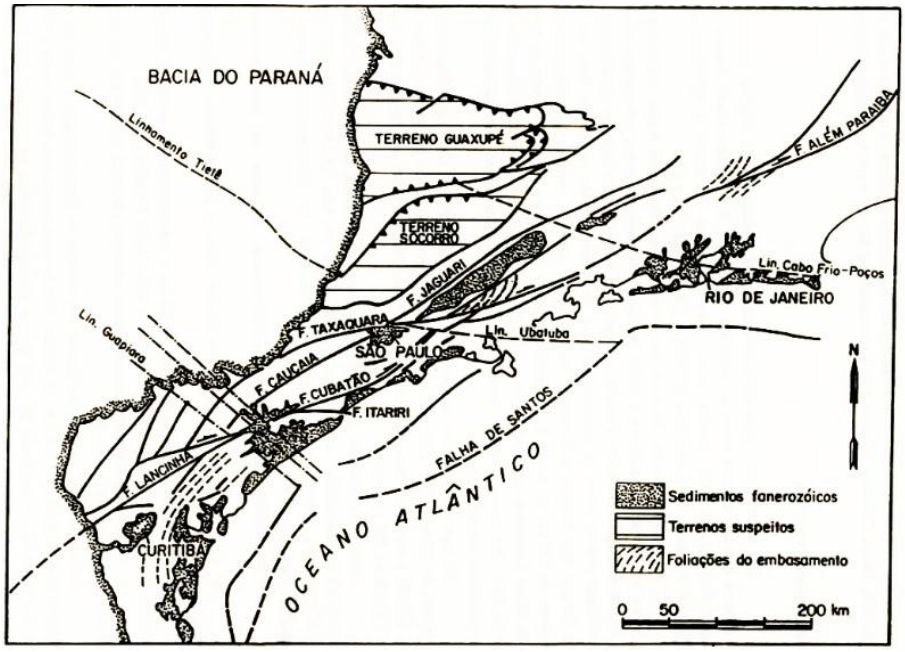


Figura 2.4.3.3-1 - *Sistema de Falhamentos Cubatão.*
Fonte: Sadowski (1991).

O Domínio (ou Terreno) Costeiro situa-se entre a Falha de Cubatão a norte e o litoral a sul. Esta unidade é formada por três conjuntos litológicos representados por sequências gnáissico-migmatíticas, granulíticas e metassedimentares (Dias NETO *et al*., 2009). O conjunto gnáissico-migmatítico é composto por ortognaisses variados e migmatitos. Já as rochas granulíticas englobam plútons de charnockitos e noritos que ocorrem associados aos gnaisses e corpos graníticos presentes na área. De acordo com Tassinari *et al*. (2001), os charnockitos (ou hiperstênio granitos) têm origem relacionada aos processos magmáticos associados aos granitóides que intrudiram as rochas metamórficas do Domínio Costeiro. Finalmente, as rochas metassedimentares são representadas por rochas síltico-argilosas e, subordinadamente, quartzitos arcoseanos, que foram submetidos a metamorfismo de médio a alto grau.

No Estado de São Paulo, o Domínio Costeiro compreende uma estreita faixa situada entre o Oceano Atlântico e a Serra do Mar. Seguindo a tendência regional, é marcada estruturalmente por feições que delineiam um *trend* ENE - WSW. Suas rochas metamórficas expõem uma forte e penetrativa xistosidade e/ou foliação gnáissica em todas as escalas, subordinadas ao regime transpressivo vigente durante a evolução da Faixa Ribeira.

A Serra do Mar é um conjunto de escarpas de planalto com cerca de 1000 km de extensão e que se eleva a até 1000 m de altitude, margeando a costa brasileira. No sudeste de São Paulo, a serra limita geograficamente a planície litorânea correspondente ao Domínio Costeiro dos terrenos mais elevados do Domínio Embu, e tem sua evolução atrelada à Falha de Cubatão. Naquela região, a Serra do Mar originou-se por movimentação vertical ao longo da falha, onde o Planalto Atlântico (correspondente ao Domínio Embu) a norte sofreu soerguimento e o bloco situado a sul (O Domínio Costeiro) teria se abatido e sido posteriormente recoberto por sedimentos cenozóicos. Em suas encostas agentes erosivos e intemperismo esculpiram vales e grotões, por onde se desenvolveu o sistema de drenagem que conduz sedimentos em direção ao sistema estuarino de Santos-Cubatão na planície litorânea.

b) Bacia de Santos

A Bacia de Santos é uma bacia do tipo margem passiva gerada durante o processo de ruptura do supercontinente Gondwana no Eo-Cretáceo, culminando com a abertura do Oceano Atlântico Sul e a separação dos continentes americano e africano. O rifte Sul-Atlântico propagou-se de sul para norte, submetido pela distribuição de tensões regionais que condicionou a atenuação litosférica em ampla faixa de deformação, com estruturas de direção aproximada N-NNE (CHANG *et al.*, 2008).

Diversos autores atribuem a evolução e a estruturação da fase rifte da Bacia de Santos à forte influência de heterogeneidades de expressão regional presentes na porção da crosta na qual a bacia se desenvolveu (MOHRIAK & DEWEY, 1987; MACEDO, 1990; DAVISON, 1997; MEISLING *et al.*, 2001 *apud* MIO *et al.*, 2005). Tais heterogeneidades representam descontinuidades em escala regional que afetam a crosta e muito provavelmente o manto superior (FERREIRA, 1982; CAMPANHA & SADOWSKI, 1999; e Soares *et al.*, 2000 *apud* MIO *et al.*, 2005). Compreendem, geneticamente, zonas de sutura entre blocos continentais, cinturões de dobramento e cavalgamento, zonas de cisalhamento e enxames de diques máficos. Estas descontinuidades controlam o arcabouço estrutural do

embasamento da Bacia de Santos através da reativação de estruturas durante o processo de estiramento e abertura.

A história geológica da Bacia de Santos é dividida em três fases principais: rifte, transicional e margem passiva. A fase rifte, datada do Hauteriviano (PEREIRA & FEIJÓ, 1994 *apud* MIO *et al.*, 2005) até o Aptiano, é representada por uma sequência depositada em ambiente fluviolacustre, composta por folhelhos, carbonatos e depósitos grossos oriundos de leques aluviais assentados discordantemente sobre basaltos tholeiíticos neocomianos.

A fase de transição é composta por uma espessa seção de rochas evaporíticas, depositadas durante o Aptiano em um ambiente marinho restrito, com contribuição de depósitos de *sabkha* (evaporítico-carbonáticos). Essa fase é separada da fase rifte pela discordância pré-Alagoas. Sobre os evaporitos da fase de transição instalou-se, durante o Albiano inferior, uma ampla plataforma carbonática, bordejada por sistemas de leques aluviais, iniciando a fase de margem passiva.

Os mecanismos geradores do rifteamento inicial são controversos. A corrente mais aceita atribui um domeamento térmico ou intumescência do manto como causa do afinamento crustal. Este domeamento térmico estaria associado a um intenso processo de estiramento litosférico que afetou profundamente a bacia (CHANG *et al.*, 1992 *apud* MIO *et al.*, 2005).

Os esforços distensivos experimentados pela crosta no Neocomiano tiveram como resposta o surgimento de falhas incipientes controlando depocentros locais associados a uma deposição sedimentar ampla e pouco espessa (Figura 2.4.3.3-2a).

A evolução dos processos desencadeados no princípio da fase rifte levou a um aumento no estiramento litosférico inicial, que coincide com a extrusão de lavas basálticas, logo seguida por grandes falhas que afetaram a crosta continental, resultando na formação de semigrábens (Figura 2.4.3.3-2b), que são preenchidos por sedimentais lacustres neocomianos-barremianos.

Os momentos finais do rifteamento foram acompanhados por um novo aumento na extensão litosférica, quando os blocos de rifte previamente formados foram rotacionados por grandes falhas, sendo então recobertos por sedimentos menos rotacionados (Figura 2.43.3-2c). O eixo de espalhamento meso-Atlântico,

responsável pela incepção de crosta oceânica, provavelmente intrude a crosta ao final dos episódios de rifteamento (Mohriak, 2003). As primeiras manifestações de espalhamento oceânico na Bacia de Santos estão associadas a vulcanismo subaéreo, responsável por formar espessas cunhas de refletores que mergulham na direção do depocentro (*seaward dipping reflectors* - SDR). Esse estágio é marcado também por diferentes episódios de magmatismo continental e oceânico, reativação de importantes falhas e erosão de blocos de rifte por uma discordância regional que aplaina a topografia existente até então e separa ambientes de deposição tipicamente continental - lacustres e fluviais - dos transicionais e marinhos (Figura 2.4.3.3-2d).

Sobre essa discordância angular são registrados espessos sedimentos aptianos, pouco afetados por falhas, que formam a sequência sedimentar do estágio final de rifte (*sag basin*), a qual pode originar rochas geradoras de hidrocarbonetos. No Aptiano Superior evaporitos acabam por recobrir essa sequência e subsequentemente a sedimentação torna-se eminentemente carbonática, com o período Albiano marcado por ambientes plataformais rasos. No final deste intervalo, no Cenomaniano / Turoniano, sedimentos marinhos de águas profundas se acumularam sobre a plataforma carbonática, encerrando seu desenvolvimento num claro indício de aumento na paleobatimetria.

Ao final do período Cretáceo a margem sudeste brasileira passou a receber o aporte sedimentar maciço originado pelo soerguimento da Serra do Mar e Serra da Mantiqueira, que acarretou numa importante progradação de sedimentos terrígenos, formando grandes cunhas que avançaram, sob influência da tectônica halocinética, na direção da quebra de plataforma e forçaram uma regressão marinha (Figura 2.4.3.3-2e e Figura 2.4.3.3-3). Falhas reativadas do embasamento e episódios magmáticos também tiveram importante papel no desenvolvimento desse ambiente sedimentar, ainda ativo nos dias atuais.

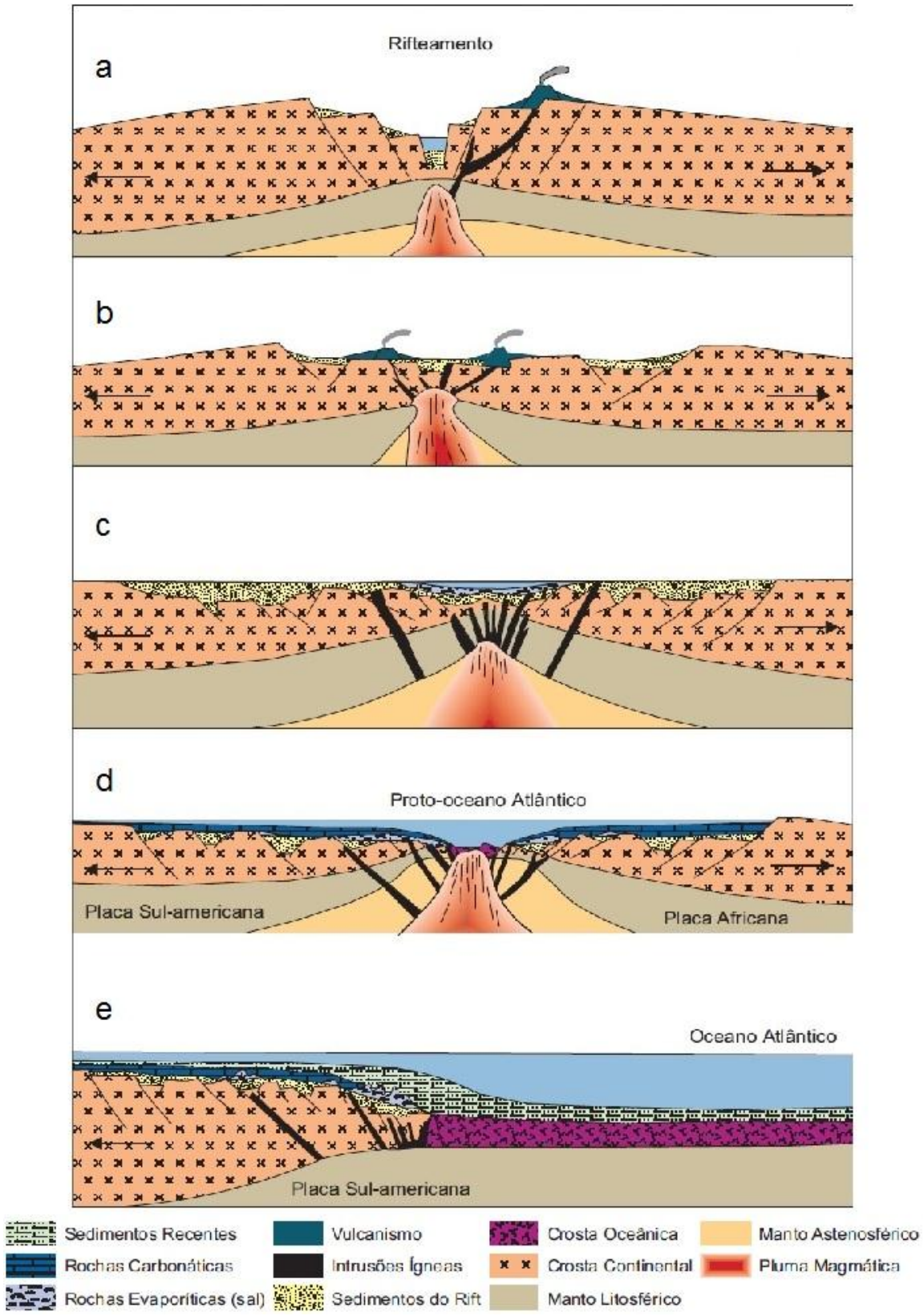


Figura 2.4.3.3-2 - *Modelo geodinâmico esquemático de margens continentais divergentes.*
Fonte: IBGE (2011).

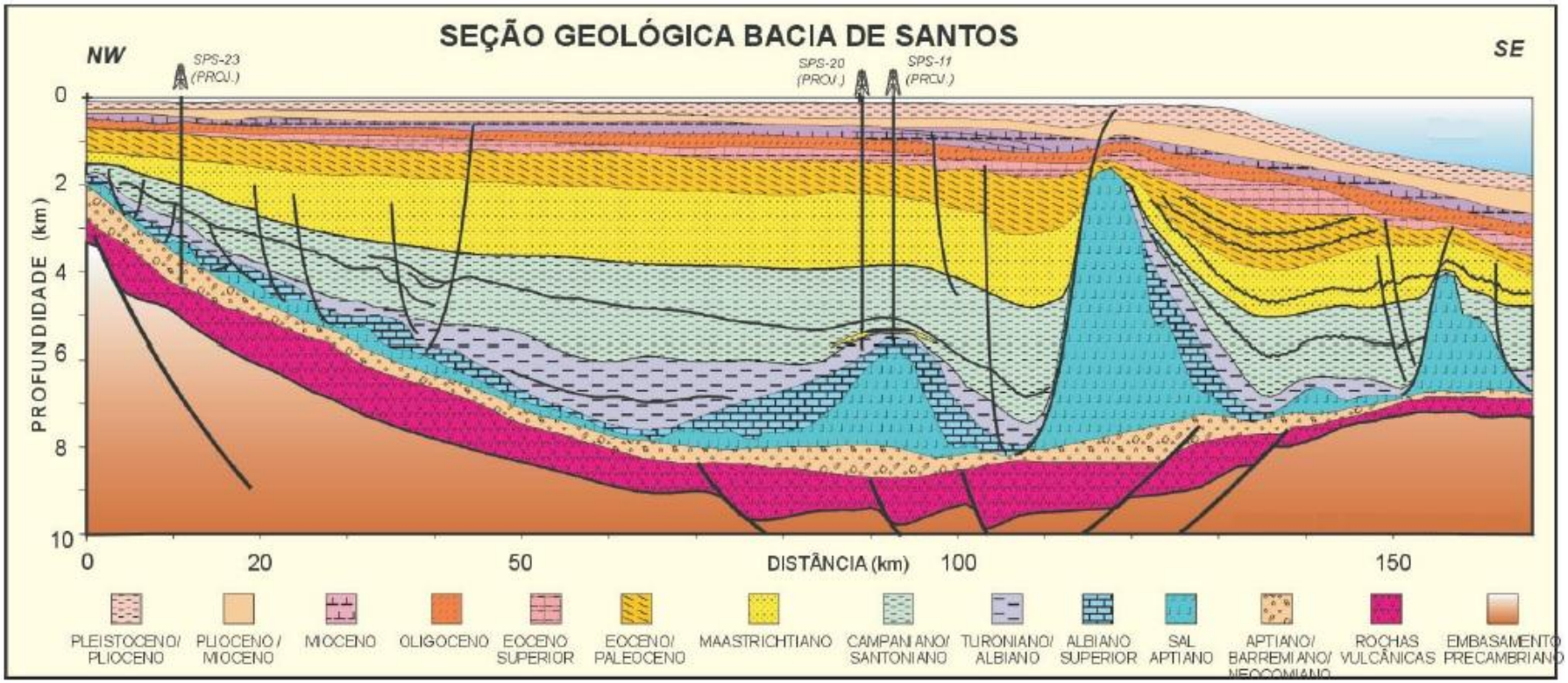


Figura 2.4.3.3-3 - *Seção geosísmica na Bacia de Santos, exibindo sequências estratigráficas da fase rifte e pós-rifte e diápiros de sal próximos da quebra da plataforma continental.*
Fonte: Modificado de Cainelli & Mohriak (1998).

2.4.3.4 - Estratigrafia

Exibindo uma espessura sedimentar superior a 10.000 metros nos principais depocentros, a Bacia de Santos representa uma das maiores depressões da margem continental brasileira. Seu arcabouço estratigráfico, conforme representado na coluna estratigráfica (Figura 2.4.3.4-1), compreende três fases. Autores como Moreira *et al.* (2007) adotam o termo “supersequência” ao se referirem a cada uma das três fases de evolução da bacia, que correspondem genericamente às fases rifte, pós-rifte (ou transicional) e drifte (ou margem passiva).

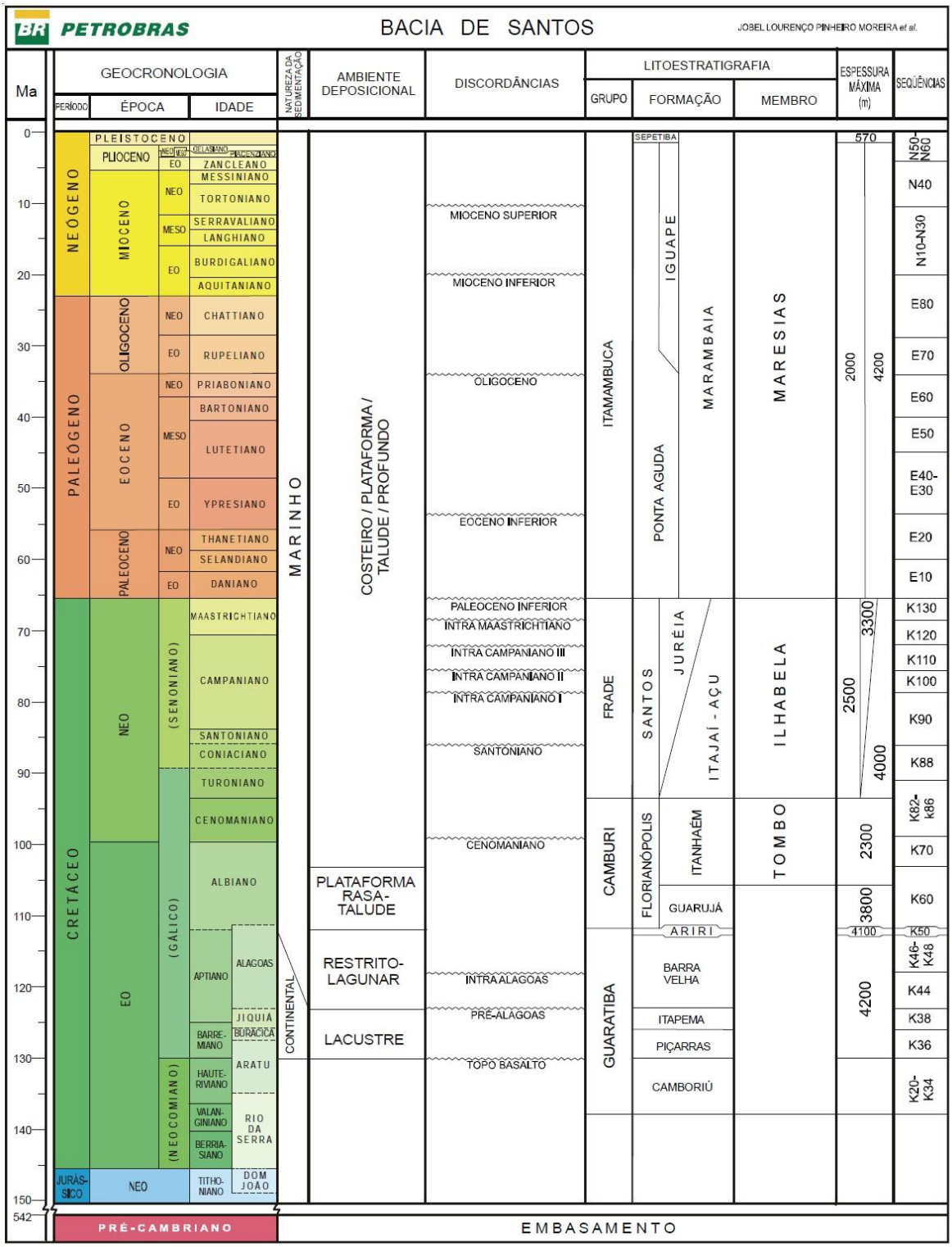


Figura 2.4.3.4-1 - *Colunas estratigráficas da Bacia de Santos.*
Fonte: Moreira et al. (2007).

A fase mais antiga, correspondente à Supersequência Rifte, continental, foi depositada em ambiente fluviolacustre. Seu início é marcado por derrames de basaltos tholeiíticos amigdaloidais da Formação Camboriú (MOHRIAK, 2003), de idade hauteriviana, sobrepostos por sedimentos clásticos barremianos da Formação Piçarras, os quais gradam desde conglomerados nas porções proximais do rifte, gradando para arenitos até siltitos e folhelhos nas porções lacustres.

Assentados sobre a Formação Piçarras encontram-se as intercalações entre calcirruditos e folhelhos escuros carbonosos da Formação Itapema, de idade barremiana a aptiana. Os calcirruditos, conhecidos informalmente na Bacia de Campos como “sequência de coquinas”, são constituídos por fragmentos de conchas de pelecípodes muitas vezes dolomitizados e/ou silicificados (Papaterra, 2010). Os folhelhos escuros, ricos em matéria orgânica, ocorrem nas porções mais distais do rifte e, a exemplo de outras bacias da margem leste brasileira, constituem-se num potencial gerador de hidrocarbonetos.

A Supersequência Rifte é recoberta pela Supersequência Pós-Rifte (ou Transicional), caracterizada pela deposição de siliciclásticos e evaporitos aptianos sobre a discordância *break-up* em ambiente marinho restrito (MOHRIAK, 2003) equivalente a um golfo. Representam a fase pós-rifte as formações Barra Velha e Ariri, aptianas, pertencentes à antiga Formação Guaratiba, elevada à categoria de Grupo por Moreira *et al.* (2007).

A Formação Barra Velha, datada do Aptiano, é dividida em duas sequências, inferior e superior, e tem seu limite inferior marcado pela discordância conhecida como “pré-Alagoas”. A sequência inferior é definida por depósitos de calcários microbiais, estromatólitos e laminitos nas porções proximais e folhelhos nas porções distais. Ocorrem também *grainstone* e *packstone* compostos por fragmentos dos estromatólitos e bioclastos (ostracodes) associados. Já a sequência superior caracteriza-se pela ocorrência de calcários estromatolíticos intercalados a laminitos microbiais, localmente dolomitizados.

O limite entre as sequências da Formação Barra Velha é dado pela discordância “IntraAlagoas” reconhecida nos trabalhos de Vieira *et al.* (1994) e

Dias (2005), que corresponde a um refletor sísmico de forte impedância acústica positiva de caráter regional (MOREIRA *et al.*, 2007).

Sobre os carbonatos da Formação Barra Velha houve a deposição de evaporitos neoaptianos que representam a Formação Ariri, compostos principalmente por halita e anidrita, mas com presença subordinada de sais mais solúveis como taquidrita, carnalita e silvinita (MOREIRA *et al.*, 2007).

A expressiva sedimentação evaporítica ocorrida na “fase golfo” aptiana foi condicionada pela presença de altos vulcânicos (Dorsal de São Paulo) que atuaram como barreiras à circulação de águas do oceano provindas de sul (Chang *et al*., 2008), e pelo regime climático vigente à época, quente e seco. As taxas de evaporação eram elevadas em comparação ao influxo de águas, proporcionando a deposição de espessos pacotes de sal que podem atingir espessuras de 2.000 a 2.500 metros (CHANG *et al.*, 1990, Pereira & Macedo, 1990 *apud* Chang *et al*., 2008).

Após a sedimentação evaporítica instala-se um sistema deposicional misto que marca o início da fase drifte, com acumulação de siliciclásticos na borda (Formação Florianópolis), associados a sistemas de leques aluviais e deltaicos, e de carbonatos formando uma plataforma na porção mais distal (Formação Guarujá). Com a deposição destas sequências instalou-se um sistema marinho na bacia, porém em ambiente hipersalino, com pouca circulação de água oceânica, refletido na escassez e pouca diversidade da biota que compõe os carbonatos (CHANG *et al*., 2008).

A Supersequência Drifte está associada a uma expressiva subsidência isostática neoalbiana resultante da contração da crosta oceânica, que por sua vez é fruto do contínuo estiramento litosférico e do decaimento da anomalia térmica dado pelo afastamento da fonte de calor representada pela Dorsal Mesoatlântica. Movimentos tectônicos adiastróficos associados à halocinese também exercem controle sobre os depósitos desta fase (PAPATERRA, 2010). Os campos petrolíferos da porção sul da Bacia de Santos são justamente subordinados a essa dinâmica, pois localizam-se nos *trends* de estruturas “casca de tartaruga” criadas pelos movimentos halocinéticos, resultando em uma geometria propícia à acumulação nos reservatórios carbonáticos da Formação Guarujá (CHANG *et al*., 2008).

Três sequências deposicionais compõem a Supersequência Drifte: Marinho Raso (plataforma carbonática), Marinho Aberto Transgressivo e Marinho Aberto Regressivo (PAPATERRA, 2010). A deposição de sedimentos destas sequências teve início no Albiano e perdura até os dias atuais.

O registro litológico da fase marinha rasa é representado, além das supracitadas Formação Florianópolis e Formação Guarujá, pela porção basal da Formação Itanhaém. Esta é constituída por folhelhos e margas interacamadadas com arenitos bem selecionados do Membro Tombo (MOREIRA *et al.*, 2007), relacionados geneticamente a fluxos gravitacionais densos ocorridos em períodos de quedas relativas do nível do mar. As areias do Membro Tombo ocorrem geralmente encaixadas em baixos deposicionais gerados e controlados pela tectônica salífera albiana.

A continuidade da deriva do continente sulamericano e subsequente aprofundamento da Bacia de Santos teve como resultado a fase marinha aberta transgressiva de Papaterra (2010). De idade turoniana a senoniana, se inicia ainda com a deposição de sedimentos das formações Florianópolis e Itanháem, e culmina com a implantação de um ambiente marinho transgressivo, quando se deu a deposição de arenitos turbidíticos entremeados a folhelhos anóxicos radioativos (Formação Itajaí-Açu) (CHANG *et al.*, 2008).

Após a transgressão do Neo-Cretáceo expressivos eventos regressivos provocaram o avanço de até 200 km do limite da plataforma costa afora (MOREIRA *et al.*, 2007), principalmente durante o Maastrichtiano.

A partir do limite Paleógeno/Cretáceo (65,5 Ma) quedas relativas do nível do mar permitiram o desenvolvimento de plataformas carbonáticas na porção centro-sul da bacia (MOHRIAk, 2003) e remobilizaram sedimentos clásticos plataformais, que se depositaram na forma de corpos turbidíticos associados a deltas de borda de plataforma na porção norte da bacia.

No Terciário da Bacia de Santos se depositaram, nas porções mais proximais, conglomerados finos e arenitos finos a grossos, intercalados a sedimentos pelíticos recorrentes em todo o Cenozoico, que constituem a Formação Ponta Aguda. Distalmente, a Formação Ponta Aguda interdigita com as fácies carbonáticas da Formação Iguape ou aos pelitos da Formação Marambaia (MOREIRA *et al.*, 2007).

A Formação Iguape, depositada a partir do Oligoceno até o fim do Plioceno, é representada por calcarenitos e calciruditos bioclásticos intercalados com sedimentos pelíticos, margas e, subordinadamente, arenitos finos a médios. As condições para criação de um ambiente de sedimentação mista/carbonática foram proporcionadas por pulsos transgressivos ocorridos a partir do Oligoceno, que ocasionaram o afastamento das fontes siliciclásticas. A Formação Iguape interdigita lateralmente com a Formação Ponta Aguda, em direção à costa, e distalmente com os sedimentos pelíticos da Formação Marambaia.

Na Formação Marambaia, depositada desde o limite Paleógeno/Cretáceo até os dias atuais, ocorrem sedimentos pelíticos interacamadados com corpos arenosos turbidíticos (Membro Maresias) associados à remobilização de sedimentos plataformais provocada principalmente por quedas do nível eustático do mar.

A sedimentação na plataforma da Bacia de Santos culmina com a deposição de folhelhos, areias e coquinas pleistocênicos da Formação Sepetiba, enquanto na porção de talude predominam os sedimentos lamosos cortados por cânions preenchidos por sedimentos arenosos ou lamosos. No segmento bacinal o predomínio é de cunhas de diamictitos e lamas de água profunda da Formação Marambaia, além dos depósitos turbidíticos do Membro Maresias.

2.4.3.5 - Fisiografia da Margem Continental e do Fundo Oceânico Adjacente

Conforme afirmado nos tomos anteriores, a margem continental atlântica brasileira, as bacias sedimentares costeiras de idades mesozoico-cenozoicas e os fundos oceânicos adjacentes têm sua história evolutiva diretamente vinculadas aos fenômenos tectônicos que deram origem ao Oceano Atlântico Sul como consequência do desmembramento do supercontinente Gondwana. A configuração atual do litoral brasileiro é resultado da longa interação entre tais fenômenos e outros processos geológicos, geomorfológicos, climáticos e oceânicos.

A margem continental do Brasil representa uma típica margem do tipo passivo, onde formas de relevo relacionadas a atividades tectono-magmáticas são sobrepostas pelas feições originadas por processos sedimentares. Além das

feições clássicas de uma margem passiva, como plataforma, talude e sopé continental, apresenta também um relevo complexo, exemplificado por bruscas quebras de gradiente, pela presença de platôs marginais, bancos e montes submarinos (Figuras 2.4.3.2-2; 2.3.3.5-1 e 2.4.3.5-2).

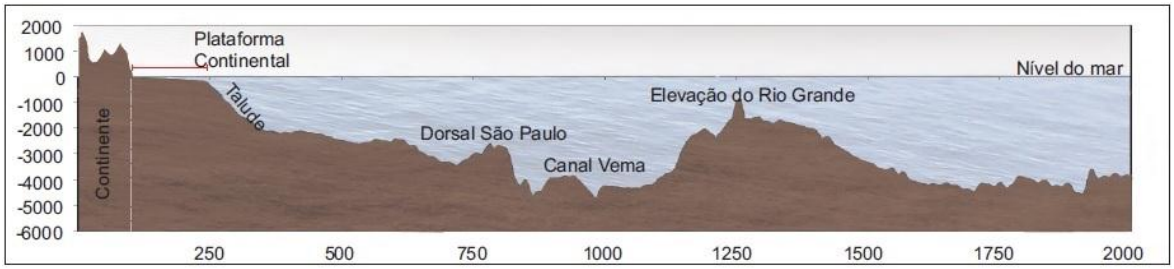


Figura 2.4.3.5-1 - *Perfil morfológico representativo do Atlântico Sul na altura da Bacia de Santos. Eixo X em quilômetros e eixo Y em metros. Exagero vertical de 900 vezes.*
Fonte: Modificado de IBGE (2011).

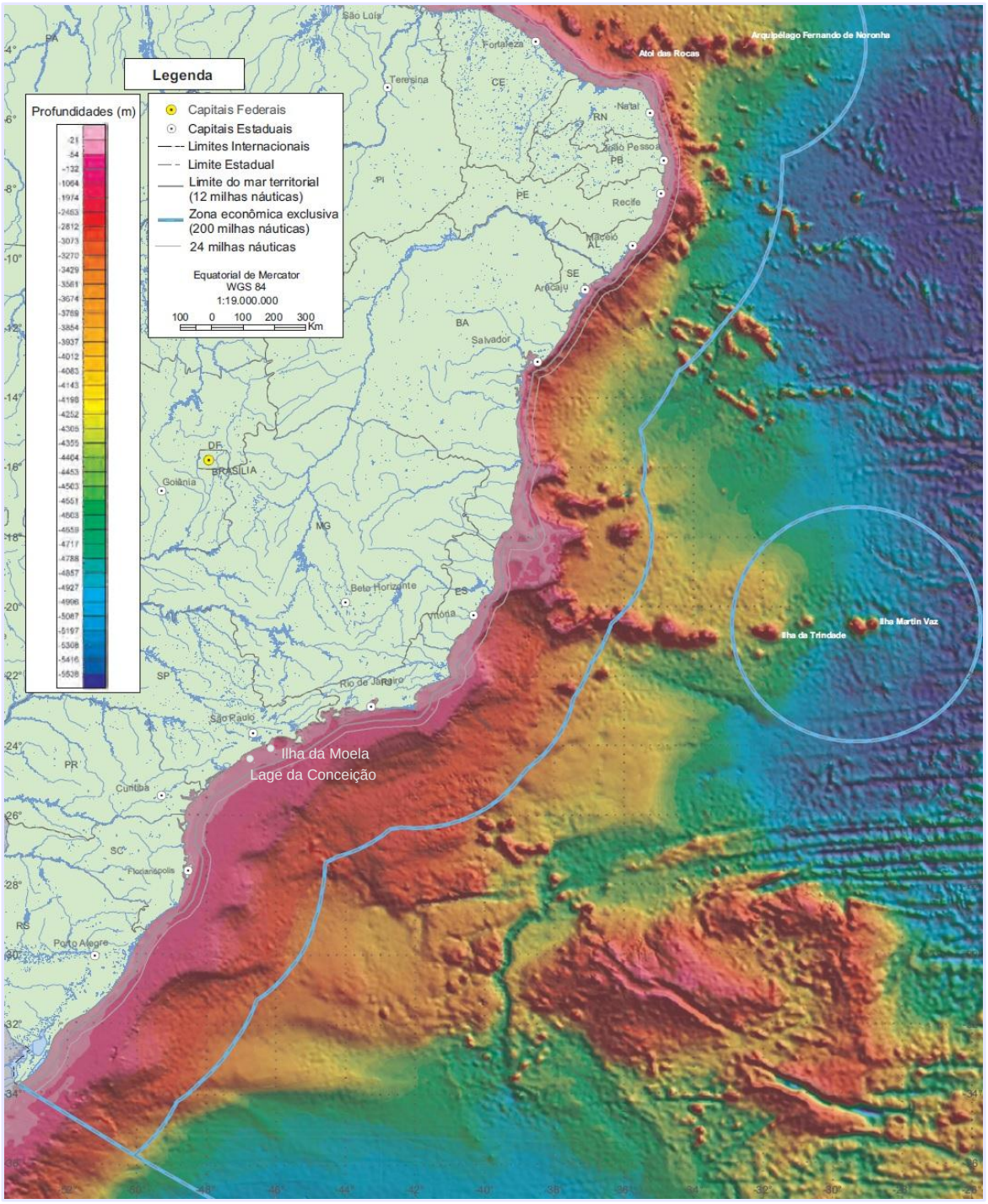


Figura 2.4.3.5-2 - *Mapa batimétrico da Plataforma Continental Brasileira.*
Fonte: Modificado de IBGE (2011).

O relevo do fundo do mar no entorno da Ilha da Laje da Conceição, por ser tão próxima à costa, apresenta as características típicas das porções proximais de plataforma continental de margem passiva. A configuração é de terraço, com

variações batimétricas suaves, com declividade média em torno de 0,5° e profundidades máximas entre 15 e 20 metros, longe dos cerca de 180 metros que marcam o limite externo da plataforma com o talude.

Adjacente à Laje da Conceição e geneticamente relacionada a ela, a província costeira é dividida em dois compartimentos: serrania costeira (Serra do Mar) e baixada litorânea. A baixada litorânea compreende terrenos com elevação de até 70 m acima do nível médio do mar, e é nesta estreita faixa, balizada pela serra e o Oceano Atlântico, que está situada a Baixada Santista.

Por critérios geomorfológicos é possível dividir o litoral paulista em duas áreas - norte e sul - separadas por uma zona de transição. A área norte, situada entre a Ponta da Boracéia, no limite entre os municípios de São Sebastião e Bertioga, e a divisa com o Estado do Rio de Janeiro, caracteriza-se por praias tipo “de bolso” (*pocket beaches*) de extensões variando entre 2 e 4 km, separadas por pontões do embasamento cristalino. A região a sul da Ponta da Boracéia, por sua vez, é caracterizada por planícies costeiras de maior extensão destacadas por pequenos pontões do embasamento.

Fúlfaro *et al.* (1974), após analisarem a compartimentação tectônica atribuída a alinhamentos oblíquos ou transversais à costa, subdividiram o litoral paulista em 5 elementos: as planícies de Cananéia/Iguape, Itanhaém, Santos, Bertioga e Caraguatatuba. A Ilha da Moela se encaixa no segmento sul do litoral paulista, junto à planície de Santos de Fúlfaro *et al*. (1974).

2.4.3.6 - Exploração Mineral

A Ilha, ou Laje, da Conceição, por se tratar de área protegida por lei, não pode ser alvo de exploração mineral. Situada no meio do Setor Carijó da APAMLC (Figura 2.4.3.1-1), seu entorno próximo também é restrito a atividades extrativas. As áreas mais próximas de interesse econômico, cadastradas e disponibilizadas pelo DNPM - Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, estão há mais de dez quilômetros de distância da ilha e são distribuídas em dois conjuntos.

O primeiro conjunto, situado no trecho de mar à frente das praias do município de Peruíbe (Figura 2.4.3.6-1), é composto por seis blocos requeridos

para pesquisa por uma grande mineradora multinacional objetivando a extração do mineral ilmenita ($FeTiO_2$), um óxido de titânio amplamente utilizado na indústria de pigmentos. É o mineral de titânio de ocorrência mais comum e abundante (Maia, 2001), e é comumente minerado de areias de praia.

O segundo e mais numeroso grupo de áreas para aproveitamento mineral está distribuído em terra pelos municípios de Peruíbe, Itanhaém e Mongaguá, situados na planície costeira que se encaixa entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico (Figura 2.4.3.6-1). Os processos relacionados a elas estão em diferentes fases de trâmite no DNPM, e há inclusive blocos disponíveis. O objetivo principal é a extração de areia para uso industrial e na construção civil, mas há requerimentos para pesquisar a retirada de turfa e mesmo de ilmenita, a exemplo do que ocorre *offshore*.

Embora não se tenha maior detalhamento dos respectivos processos de extração mineral a serem aplicados às lavras identificadas, destaca-se que, possivelmente a metodologia utilizada será a extração por dragas com bombas de sucção e recalque, instaladas sobre barcaças ou plataformas flutuantes (os popularmente conhecidos “portos de areia”). Essas dragas podem ser fixas (Beaver) ou autocarregáveis móveis e possuem a finalidade de escavar e remover areia submersa, transportando-a, através de tubulações acopladas (para pontos de extração próximos à costa) ou balsas de estocagem temporárias, para locais previamente selecionados.



Figura 2.4.3.6-1 - *Localização das áreas de processos minerários mais próximas à Ilha da Conceição.*
Fonte: SIGMINE/DNPM (2013).