

I. INTRODUÇÃO

I. INTRODUÇÃO

A preservação das águas e dos diferentes habitats oceânicos, assim como a busca de novos conhecimentos e tecnologias para a exploração e produção de petróleo e gás (E&P) de forma mais eficaz e segura, visando garantir o suprimento de energia para a sociedade e manter o equilíbrio da vida marinha tem sido um grande desafio para a PETROBRAS.

Nas últimas quatro décadas, a Companhia vem explorando diferentes bacias sedimentares ao longo da costa brasileira, e para tal, foi fundamental a geração de informações sobre as condições físicas, químicas, biológicas e geológicas, com o intuito de subsidiar o entendimento da dinâmica de funcionamento dos ecossistemas marinhos. Sabe-se que para a avaliação dos impactos ambientais é necessário conhecer os ecossistemas e suas variações temporais e espaciais, de forma a permitir a distinção entre alterações no meio advindas das atividades petrolíferas e de outras interferências, sejam elas antropogênicas ou relacionadas aos processos naturais.

Os potenciais impactos associados à atividade de produção de petróleo e gás são variados e estão tradicionalmente descritos nos estudos de impacto ambiental (EIA). O monitoramento tem sido a principal ferramenta para acompanhar os reais impactos ambientais que podem ocorrer durante as diversas atividades realizadas nos campos petrolíferos. O monitoramento das atividades de exploração (sísmica e perfuração), produção (efluente e impactos físicos das instalações) e descomissionamento vem sendo realizado pela PETROBRAS em parceria com instituições de pesquisa e empresas, para avaliar possíveis alterações ambientais e subsidiar a tomada de decisão.

A caracterização ambiental é uma etapa anterior ao monitoramento, essencial para se conhecer a situação de base ou *background* do ambiente. A partir da análise de diversos indicadores ambientais busca-se o conhecimento das características e funções dos diversos ecossistemas costeiros e marinhos, para avaliar de forma confiável e consistente as modificações ambientais decorrentes da implantação de empreendimentos.

Assim, nas últimas décadas, a PETROBRAS vem executando diversos estudos de caracterização ambiental nas bacias sedimentares do Ceará, Potiguar,

Sergipe-Alagoas, Campos e Santos. Tais estudos geram um grande volume de informações sobre as condições físico-químicas, biológicas e geológicas das áreas marinhas, contribuindo para o conhecimento científico do meio físico, geoquímico e da biodiversidade do ambiente marinho brasileiro.

Estudos realizados na Plataforma Continental de Sergipe-Alagoas contribuem não somente para o aumento da compreensão sobre a estrutura e dinâmica das comunidades biológicas nela presentes, como também para dar suporte científico à sustentabilidade de atividades econômicas como a pesca comercial e as atividades extrativistas dos recursos naturais.

Na Bacia de Sergipe-Alagoas, os estudos ambientais realizados pela Universidade Federal de Sergipe tiveram início em 1992 (UFS/PETROBRAS, 1992), e vigoram até os dias atuais, apesar de não terem sido sistemáticos ao longo do tempo (UFS/PETROBRAS, 1997; UFS/PETROBRAS, 2000; UFS/PETROBRAS, 2004; UFS/PETROBRAS, 2011). Recentemente foi negociado com o IBAMA um projeto intitulado “*Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Sergipe e Alagoas – PCR-SEAL*” que está pautado na avaliação de informações pré-existentes e na coleta de novos dados físicos, químicos, biológicos e geológicos, tanto na plataforma continental como no talude.

O PCR-SEAL foi apresentado ao IBAMA em atendimento à Licença de Operação N° 658/07 e revisado a partir das solicitações e questionamentos presentes nos Pareceres Técnicos N° 364/08, N° 142/10 e N° 302/11, sendo aprovado pelo órgão em 2011. O PCR-SEAL também faz parte de outro projeto ainda em negociação com o IBAMA, para a aplicação do sistema de produção e escoamento de petróleo e gás dos campos de Camorim, Dourado e Guaricema. Este empreendimento tem como objetivo garantir a continuidade das atividades em águas rasas, mediante o uso de técnicas que permitam aumentar a recuperação da produção dos reservatórios, atualmente muito reduzida em função do longo tempo de operação.

A área de estudo do PCR-SEAL está localizada na costa leste brasileira tendo, como limite norte, a região sul de Alagoas, onde há atividade de E&P (área de Coruripe) e limite sul, o rio Piauí-Real, localizado na divisa dos estados de Sergipe e Bahia. As atividades petrolíferas predominantes na região marinha ocorrem em águas rasas, na plataforma continental intermediária (até 40 m), sendo a maioria das unidades de produção localizadas entre os rios Sergipe e

Vaza-Barris. Recentemente, atividades de exploração e produção de óleo e gás estão sendo implementadas em águas profundas, como as perfurações nos blocos exploratórios e produção no Campo de Piranema, localizado na área de talude, em lâmina de água de cerca de 1.000 m (Figura 1.1).

O objetivo principal do PCR-SEAL é o reconhecimento das características gerais da Bacia de Sergipe e sul de Alagoas, considerando a complexidade natural do ambiente em escala regional. Para tanto, se faz necessário o levantamento de informações dos diferentes habitats e feições sedimentares da plataforma continental e do talude, de forma a auxiliar o entendimento da dinâmica dessa bacia sedimentar e, conseqüentemente, viabilizar o planejamento e a gestão ambiental da área. Os objetivos específicos do PCR-SEAL são:

- Caracterizar a meteoceanografia da região;
- Caracterizar a físico-química da água do mar e dos sedimentos;
- Caracterizar as comunidades planctônicas (fito, zoo e ictioplâncton);
- Caracterizar as comunidades bentônicas da plataforma continental e do talude;
- Compilar informações disponíveis referentes à ictiofauna;
- Caracterizar a ictiofauna demersal da plataforma continental e do talude;
- Caracterizar as espécies de mamíferos e quelônios marinhos que ocorrem na Bacia de Sergipe-Alagoas;
- Fornecer as informações geradas em formato adequado para incorporação em Sistema de Informação Geográfica (SIG);
- Elaborar a proposta do Projeto de Monitoramento Ambiental Regional da Bacia de Sergipe/Alagoas (PMAR-SEAL).

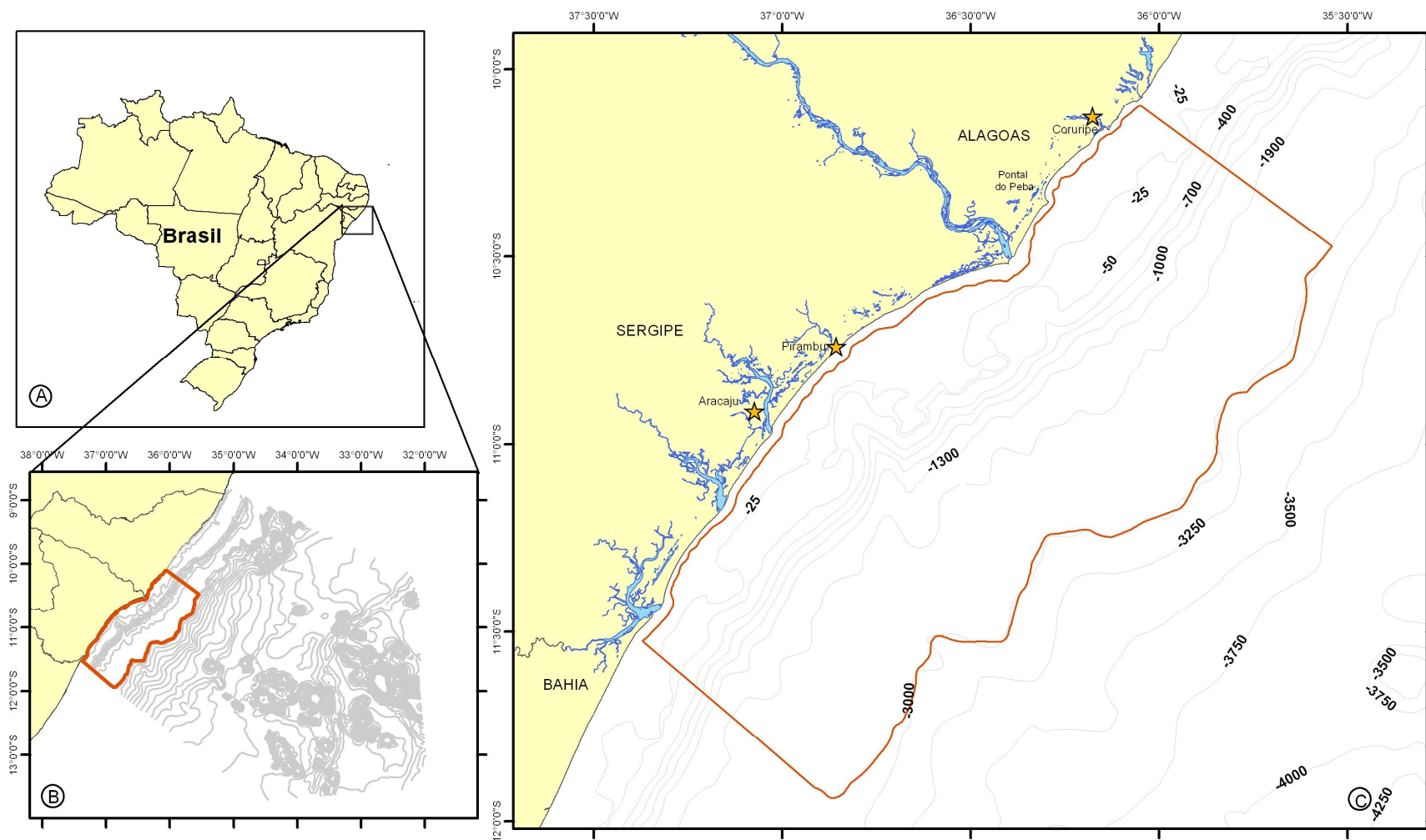


Figura 1.1 - Localização da área do Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Sergipe e Alagoas.

O Projeto contempla duas linhas principais de atuação: a) utilização de informações pretéritas de projetos da PETROBRAS e de instituições de pesquisa; b) a coleta de dados primários na região mais próxima da costa, localizada na foz dos principais rios (São Francisco, Sergipe, Vaza Barris e Piauí-Real); c) a plataforma continental e d) o talude. Nestes ambientes serão caracterizadas as diferentes massas de água e as múltiplas feições e habitats do fundo marinho, como os sedimentos lamosos, arenosos e biodetríticos, bancos de algas calcáreas e corais e os cânions do São Francisco e Japarutupa. A execução do PCR-SEAL está organizada em 3 etapas:

- ETAPA 1 - caracterização geológica da Plataforma Continental;
- ETAPA 2 - caracterização físico-química e biológica do sedimento da Plataforma Continental;
- ETAPA 3 - caracterização físico-química e biológica da água de toda a bacia e do sedimento do talude.

Em dezembro de 2011 foi entregue ao IBAMA o relatório referente à Etapa 1 intitulado “*Geologia e Geomorfologia da Plataforma Continental de Sergipe e sul de Alagoas*” (UFS/PETROBRAS, 2011). Os estudos de caracterização geológica e geomorfológica da Plataforma Continental de Sergipe e sul de Alagoas foram realizados entre 2008 e 2011 pela UFS. Tais estudos envolveram a coleta de novos dados de sedimento de fundo e batimetria na região com maior carência de informações, em área localizada entre o sul do Estado de Alagoas até a foz do rio Sergipe, seguida de caracterização integrada de toda a plataforma continental, com a integração de dados primários e secundários. O estudo de geomorfologia e sedimentologia possibilitou identificar, caracterizar e delimitar as fácies sedimentares e os contextos morfo-sedimentares e seus principais controles. Os resultados obtidos forneceram um maior detalhamento da morfologia do fundo e da faciologia dos sedimentos superficiais. As feições morfológicas e os depósitos sedimentares já conhecidos foram melhor delimitados e algumas novas feições e áreas deposicionais identificadas. Também foi avaliada de forma integrada a interface terra-mar, acoplando os compartimentos das bacias de drenagem e da plataforma continental para explicar a distribuição das fácies sedimentares (UFS/PETROBRAS, 2013).

O presente relatório refere-se à **Etapa 2 do PCR-SEAL** e contém informações sobre a caracterização química e biológica do compartimento sedimentar da Plataforma Continental de Sergipe e sul de Alagoas.

Os estudos de caracterização química têm como principal objetivo estabelecer uma base geoquímica regional para metais traços, hidrocarbonetos e qualidade da matéria orgânica nos sedimentos da Plataforma Continental de Sergipe e sul de Alagoas e em áreas sob influência dos rios São Francisco, Sergipe, Vaza-Barris e Piauí-Real, avaliando e identificando as prováveis fontes naturais e antrópicas. Os estudos biológicos foram realizados na plataforma continental com o objetivo de avaliar a estrutura das comunidades biológicas bênticas, ampliando o conhecimento sobre os diversos habitats e a biodiversidade marinha. Estas informações permitirão uma avaliação mais criteriosa dos resultados obtidos nos programas de monitoramento ambiental da costa de Sergipe e Alagoas.

Os indicadores ambientais analisados para a caracterização química foram matéria orgânica (MO), carbonatos, carbono orgânico total (C_{org}), nitrogênio total (N_{total}), fósforo orgânico (P_{org}), fósforo inorgânico (P_{inorg}), enxofre, metais totais e metais parciais (Fe, Al, Ba, B, Cu, Cr, Pb, Cd, Zn, Ni, V, Hg, As, Fe, Mn e Li), hidrocarbonetos totais do petróleo (HTP), hidrocarbonetos alifáticos (n-alcenos e mistura complexa não resolvida) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). Os grupos e indicadores biológicos foram estudados em relação à presença e biomassa de fitobentos e a abundância, densidade e biomassa de macrofauna bêntica, megafauna bêntica e ictiofauna demersal. Para auxiliar na interpretação dos dados químicos e biológicos foram realizadas análises granulométricas e da composição sedimentar em todas as amostras analisadas.

A margem continental é a transição entre a crosta continental espessa e a crosta oceânica mais delgada, que engloba a plataforma continental (0 - 200 m), o talude (200 – 3.000 m) e as elevações oceânicas (3.000 – 4.000 m). As margens continentais são as vias de entrada e saída que controlam a transferência de água, energia, sedimentos, organismos e contaminantes entre os continentes e o oceano aberto. Cerca de 90% de sedimentos oriundos de erosão continental e cerca de 1 (um) giga tonelada de carbono orgânico e inorgânico (particulado ou dissolvido) chegam à zona costeira por ano. Atividades humanas geralmente

exercem influência nessas trocas através das barragens, exploração de madeira, agricultura e consumo de combustíveis fósseis (LEVIN & SIBUET, 2012).

A interface Terra-Mar, também denominada como margem oceânica pelos oceanógrafos, biogeoquímicos e geólogos marinhos representa um dos elos principais que controlam o ciclo hidrológico e biogeoquímico global, regional e local. Embora a margem oceânica abranja somente 7 - 8% da área e 0,5% do volume dos oceanos, sustenta anualmente em torno de 25% da produção primária oceânica global. Além disso, mais do que 80% da massa de material terrígeno, 65% do carbonato total e 90% do carbono orgânico total oceânico são depositados e acumulados nos sedimentos da plataforma continental (MANTOURA *et al.*, 1991; BERNER, 1992; GAO, 2010; MACKENZIE, 2010).

Portanto, a plataforma continental sofre forte influência do continente, em especial nas regiões com presença marcante de rios, a exemplo da costa de Sergipe. Discussões sobre a transferência de água e matéria através da “Interface Terra-Mar” são de interesse atual em nível global, regional e local, sendo abordada por diversos programas internacionais e projetos nacionais. Isso porque a interface terra-mar representa a região que controla o fluxo de água e matéria do ciclo global e, por definição, compreende a zona costeira, o continente a montante da zona costeira e o oceano aberto. O continente e o oceano interagem sobre a zona costeira em diferentes escalas espaciais e temporais (KNOPPERS *et al.*, 2009).

A Interface Terra-Mar do cinturão tropical com plataformas continentais passivas, inclusive a do Brasil, é responsável pela maior fração global do aporte continental de matéria em suspensão e nutrientes, e o estoque de carbono inorgânico e orgânico sedimentar. O aporte fluvial da matéria em suspensão e de elementos biogênicos é imprescindível para a sustentação da flora e fauna na plataforma continental e a carga fluvial de sedimentos siliclásticos de maior densidade repõem o estoque do sedimento costeiro sujeito a processos erosivos marinhos. Entretanto, deve-se considerar a grande variabilidade regional e local da transferência e deposição de matéria nestas margens oceânicas tropicais, inclusive a dos setores Nordeste Oriental e Leste-Norte do Brasil (MILLIMAN & SYVITSKI, 1992; COUTINHO 1995; HAY, 1998; KNOPPERS *et al.*, 1999a; VÖRÖSMARTY & SAHAGIAN, 2000; JENNERJAHN & ITTEKKOT, 1997 e 2002; SEITZINGER *et al.*, 2003; SYVITSKI *et al.*, 2005; KNOPPERS *et al.*, 2009), onde

se enquadra a área do Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Sergipe-Alagoas.

De forma geral, os rios do nordeste estão sujeitos a uma acentuada variabilidade sazonal, com elevação da vazão em forma de pulsos de inundação durante a estação chuvosa e fluxos muito baixos ou mesmo negligentes durante a estação seca. Em rios de pequena escala, a vazão costuma apresentar um típico comportamento de eventos torrenciais (BERNARDES *et al.*, 2012).

A interface terra-mar na costa de Sergipe apresenta um cenário específico, uma vez que integra a bacia de drenagem do rio São Francisco, a maior fonte pontual de água e matéria da região, e inúmeras bacias de rios de pequeno porte, como Vaza-Barris, Sergipe, Piauí-Real, Japaratuba, cuja influência é parcialmente mascarada pelo rio São Francisco. Além disso, impactos antrópicos, tais como a urbanização, a aquicultura, o agronegócio no litoral e a construção de barragens no rio São Francisco, já alteraram de forma significativa as condições da zona costeira, incluindo a drástica diminuição da pesca marítima (KNOPPERS *et al.*, 2011).

Os três componentes estruturais da interface terra-mar da plataforma continental da área de estudo correspondem (KNOPPERS *et al.*, 2011):

- Às diversas bacias de drenagem de pequeno porte com seus estuários dos rios São Miguel e Coruripe (Alagoas); Japaratuba, Sergipe, Vaza-Barris (Sergipe) e Piauí-Real (divisa de Sergipe com Bahia);
- À bacia hidrográfica do rio São Francisco e seu delta-estuarino que desemboca na divisa dos estados de Sergipe e Alagoas;
- À plataforma continental.

Em geral, os principais rios das bacias da zona costeira de Sergipe e Alagoas são classificados como rios de pequeno porte com comportamento intermitente a curto prazo e vazões médias de longo prazo (QLT) na ordem de 3,1 a 12,9 m³/s, ao contrário do Rio São Francisco de médio a grande porte com vazões médias atuais de longo prazo do período pós-barragens de em torno de 1758 m³/s (KNOPPERS *et al.*, 2012; UFS/PETROBRAS, 2013).

Com relação à bacia hidrográfica do rio São Francisco destaca-se o impacto das barragens no rio e na zona costeira, uma preocupação nacional e internacional (TUNDISI *et al.*, 1998; SOUZA & KNOPPERS, 2003; WCD, 2000;

VÖRÖSMARTY *et al.*, 2005; MEDEIROS *et al.*, 2007; ANA (<http://www.ana.gov.br>). Essa discussão a respeito das barragens se deve ao fato dos reservatórios reterem matéria em suspensão, sedimentos e outros materiais associados, modificando a carga e a qualidade do aporte de matéria à jusante, afetando o balanço hídrico, sedimentar e biogeoquímico, e também a fertilidade dos seus estuários e as águas costeiras (BESSA & PAREDES 1990; ANEEL, 2000; WERNECK *et al.*, 2001; MEDEIROS 2003; SOUZA & KNOPPERS, 2003; KNOPPERS *et al.*, 2006; MEDEIROS *et al.*, 2007).

Apesar do expressivo aporte fluvial na área de estudo, as águas da Corrente do Brasil se proliferam diretamente sobre a plataforma continental e atingem a costa, acarretando um alto potencial de diluição de materiais oriundos do continente (CASTRO & MIRANDA, 1998; EKAU & KNOPPERS, 1999 e 2003).

Impactos antrópicos múltiplos nas bacias de drenagem, tais como o desmatamento, a agricultura, a urbanização, a industrialização e obras de engenharia (barragens, reservatórios, retificações, portos e proteções), estão acarretando alterações dos fluxos de água e matéria na interface terra-mar e, assim, modificações no balanço hídrico e biogeoquímico, do metabolismo e da qualidade da água dos ecossistemas lacustres, estuarinos e costeiros. Estima-se que a zona costeira abrigue mais de 40% da população global na faixa de 100 km costa adentro e que somente 20% das bacias mundiais ainda apresentem condições naturais (JICKELLS, 1998; WCD, 2000; CROSSLAND *et al.*, 2005; SYVITSKI *et al.*, 2005; MACKENZIE, 2010).

As diversas bacias de drenagem sofrem o impacto da intensa exploração dos recursos naturais com a alteração no uso do solo, com a remoção da vegetação nativa da mata atlântica, pela agropecuária, pelos inúmeros barramentos para a dessedentação de animais ou geração de energia elétrica, e pelos diversos efluentes urbanos e industriais. Estes últimos são o reflexo do adensamento urbano concentrado na cidade de Aracaju (SOUZA & KNOPPERS, 2003; SRH-SE 2004; MEDEIROS *et al.*, 2007, UFS/PETROBRAS, 2013).

Na plataforma continental que margeia os estados de Sergipe e Alagoas, merecem destaque as atividades petrolíferas e pesqueiras. A exploração de petróleo e gás ocorre predominantemente em águas rasas, com ampliação da produção nos campos em águas profundas do talude de Sergipe.

O aumento das pressões ambientais na zona costeira e plataforma continental decorrentes de uma ampla gama de atividades antrópicas pode acarretar a deterioração ambiental e a perda das funções ecológicas e sócio-econômicas dos ecossistemas marinhos. A gestão das atividades antrópicas múltiplas e das necessidades de crescimento econômico demanda conhecimento mais detalhado dos diversos habitats marinhos, suporte para a gestão e o manejo ambiental do poder público e das empresas.

Neste contexto, os estudos de caracterização sedimentar marinha, com informações sobre a morfologia, faciologia e batimetria são fundamentais para a compreensão de processos geoquímicos e para o entendimento do transporte e deposição de constituintes químicos no mar, sejam eles de influência natural ou antropogênica. Devido a suas características integradoras e pelo fato de fornecerem um registro histórico dos eventos sedimentares e de deposição de contaminantes químicos, os sedimentos de fundo são indicados para avaliar alterações geológicas, climáticas, químicas e biológicas de média e longa duração.

Em termos biológicos, a profundidade e a textura sedimentar influenciam a distribuição dos organismos bênticos que habitam o sedimento, bem como a distribuição de peixes demersais. O monitoramento das condições ambientais e mais especificamente de impactos de poluentes sobre organismos vivos tem, tradicionalmente, sido baseado em estudos da macrofauna e de outros organismos bênticos (SCHÖNFELD *et al.*, 2012), uma vez que conseguem se adaptar a mudanças ambientais de forma que as variações na comunidade podem ser diretamente ligadas à variações naturais ou antropogênicas (FROJÁN *et al.*, 2012). Nas últimas décadas, maiores esforços têm sido feitos pela comunidade científica no sentido de desenvolver descritores objetivos e de fácil utilização, capazes de avaliar quantitativamente a biota marinha (BORJA *et al.*, 2009).

Para se compreender a diversidade marinha é importante também conhecer a conectividade e as relações ecológicas que regulam a dinâmica e produtividade das populações marinhas nos diversos habitats presentes nas áreas costeiras, na plataforma continental e talude. Muitos organismos marinhos necessitam de habitats variados para completar o seu ciclo de vida. O processo de migração dos organismos, diário ou referente ao seu processo de desenvolvimento, ocorre com

muitas espécies marinhas, como macroalgas, invertebrados e peixes, que “trocam” organismos juvenis entre habitats diferentes por meio de recrutamento, a fim de completar seu ciclo de vida (KININMONTH *et al.*, 2011).

A interação continente-mar e a circulação das águas da plataforma continental têm profunda influência no ciclo de vida dos animais e vegetais marinhos, na distribuição dos nutrientes, no transporte e dispersão de contaminantes e no planejamento e construção de obras de engenharia costeiras (VITAL *et al.*, 2005). A exploração dos recursos pesqueiros e minerais, o turismo e a navegação são importantes atividades humanas que se desenvolvem na plataforma continental e podem alterar os níveis de contaminantes como metais e hidrocarbonetos, modificando a diversidade e produtividade marinha.

A necessidade de estudar, catalogar e entender a biodiversidade da margem continental advém da sua importância ecológica nos diferentes ecossistemas, além de oferecer produtos e serviços à sociedade, que tem voltado a sua atenção para o oceano profundo no tocante a exploração de energia e alimentos, em função da redução dos recursos biológicos no continente e plataforma continental (LEVIN & DAYTON, 2009).

Muito embora o conhecimento da diversidade tenha se desenvolvido bastante nos últimos anos, inclusive com estudos de genética molecular e com a utilização de veículos de operação remota (ROV), hoje ainda há muita deficiência no tocante à taxonomia com um desequilíbrio marcante entre a oferta de taxonomistas em diferentes grupos biológicos e a rica e desconhecida biodiversidade marinha (GAGE, 2002). Soma-se a isso a escassez de estudos na margem continental brasileira quando se leva em consideração a sua totalidade. Dentro deste contexto, o presente estudo pretende ampliar o conhecimento acerca da taxonomia e biogeografia dos grupos biológicos de fundo (bênticos) ou associados ao mesmo (demersais), além de correlacioná-los com as características físico-químicas e geológicas da Bacia de Sergipe e sul de Alagoas, com vistas a fornecer subsídios para uma gestão ambiental sustentável.

O estudo de caracterização sedimentar da Plataforma Continental de Sergipe e sul de Alagoas apresentado neste relatório foi realizado pela UFS sob a coordenação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Miguez de Mello (CENPES/PDEDS/AMA), com a participação de consultores da UFPE, UENF, UFF, UNIRIO, UERJ, UFRJ, UNICAMP e USP. As informações geológicas,

químicas e biológicas servirão de base para a tomada de decisão de órgãos ambientais e no processo de gestão ambiental da PETROBRAS na área marinha.

A elaboração de publicações de artigos científicos, dissertações de cursos de pós-graduação, catálogo de biodiversidade e livro contendo o estudo realizado são ainda benefícios que se espera obter com os estudos realizados, fornecendo bases conceituais para subsidiar os estudos de monitoramento das atividades de exploração de óleo e gás no mar. A inserção das informações obtidas no Banco de Dados Costeiro e Oceânico da PETROBRAS (BDCO), bem como a disponibilização dos dados em Sistema de Informação Geográfico (SIG) permitirá no futuro comparações da série histórica da Bacia de Sergipe e Sul de Alagoas e com outras bacias sedimentares brasileiras.

A análise dos dados do compartimento sedimentar da plataforma continental será integrada aos dados do sedimento do talude, a serem levantados na Etapa 3 do projeto de Caracterização Regional da Bacia de Sergipe-Alagoas (PCR-SEAL). Aos estudos sedimentares serão acoplados os estudos do compartimento hídrico, permitindo uma avaliação ambiental integrada, com o entendimento dos diferentes processos biológicos e geoquímicos da bacia e uma melhor compreensão do transporte de matéria e energia na interface terra-mar.