

## II.6.2.8. Sensibilidade dos Ecossistemas

### 1. Introdução

A área de estudo é caracterizada pela presença de uma planície costeira constituída de manguezais, estuários, restingas, praias, planícies de maré e costões rochosos. Além disso, em ambiente nerítico podem ser encontrados recifes de corais de grande importância biológica.

Segundo a Nota Técnica nº10/2012 (CGPEG/DILIC/IBAMA), a sensibilidade ambiental “é uma medida da susceptibilidade de um fator ambiental a impactos, de modo geral, conjugada com a importância deste fator ambiental no contexto ecossistêmico-socioeconômico. Portanto, observa-se que a sensibilidade é intrínseca ao fator ambiental, ou seja, não é relativa ao impacto que incide sobre este. A sensibilidade deve ser avaliada considerando as propriedades e características do fator ambiental relacionadas à sua resiliência e à sua relevância: (a) no ecossistema e/ou bioma do qual é parte; (b) nos processos ambientais; (c) socioeconômica; (d) para conservação da biodiversidade; e (e) científica”.

Em caso de um vazamento de óleo, a determinação da sensibilidade dos ecossistemas torna possível direcionar os recursos de resposta disponíveis para áreas consideradas mais sensíveis, resultando em um impedimento ou redução da contaminação (ALCÂNTARA & SANTOS, 2005).

Os derramamentos de óleo são eventos que afetam simultaneamente uma série de atividades e usos, o que torna muitas vezes conflitante o processo de tomada de decisões sobre prioridades de proteção. Os interesses envolvidos podem ser científicos, como a presença de espécies raras ou a importância ecológica de determinados habitats, comerciais, como áreas de cultivo de peixes ou de extração de água, ou, ainda, recreacionais, como áreas de turismo ou pesca esportiva. As prioridades podem também mudar com a época do ano, contemplando períodos de desova de peixes, temporada de turismo, estação de pesca, etc. (ALMEIDA, 2008).

De acordo com NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Agency) (2002), a classificação da sensibilidade do ambiente é baseada no entendimento de suas características físicas e biológicas. A relação entre processos físicos, tipo de substrato e biota associada produz tipos de litorais específicos do ponto de vista geomorfológico e ecológico, padrões de transporte de sedimentos e padrões de predileção do comportamento do óleo e impacto ambiental (NOAA (2002)).

A grande maioria dos estudos sobre sensibilidade dos ecossistemas encontrados está voltada para o impacto do óleo nos mesmos, o que sugere que os impactos reais da atividade *offshore* não são significativos para a grande maioria dos ecossistemas. Portanto, com exceção do ecossistema “Recife de coral”, para todos os outros ecossistemas abordados nesse estudo será tratada apenas a sensibilidade ao impacto do óleo

Segundo ADLER & INBAR, 2007, NOAA, 2002, IPIECA, 2012 e CLAUSEN *et al.*, 2012, as informações de sensibilidade são oriundas das inter-relações de informações secundárias como:

- i) Nível de exposição às ondas e correntes, considerando que locais com baixa energia de ondas e correntes propiciam um maior tempo de acúmulo de óleo;

- ii) Capacidade de penetração do óleo no substrato, sendo esperada uma maior penetração em sedimentos com partículas grossas;
- iii) Diversidade biológica e produtividade das áreas afetadas;
- iv) Facilidade de limpeza sem causar mais danos ao ecossistema.

A partir da interpretação das informações secundárias, a NOAA (2002) criou um guia de sensibilidade ambiental onde fez um ranqueamento de áreas sensíveis, através do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). Nele é possível encontrar alguns ecossistemas presentes na área de estudo que apresentam uma sensibilidade variável que vai de 1, para locais menos sensíveis, até 10 para locais com maior sensibilidade (**Tabela II.6.2.8.1**).

**TABELA II.6.2.8.1 - Ranqueamento estabelecido pela NOAA e as características mais relevantes de cada ecossistema.**

NOAA, 2002							
ISL	Tipo de Ecossistema	Exposição	Inclinação	Mobilidade do sedimento	Penetração do óleo	Ações de Limpeza	Biota
1	Costão rochoso vertical	Exposto	Igual ou maior que 30°	Fixo	Impermeável	Não são necessárias	Baixa diversidade de organismos adaptados a grandes impactos
2	Costão rochoso não-vertical	Exposto	Menor que 30°	Fixo	Impermeável	Não são necessárias	Baixa diversidade de organismos adaptados a grandes impactos
3	Praia de areia fina à média	-	Menor que 5°	Baixa	Baixa (<10cm)	São viáveis, havendo possibilidade de tráfego de veículos	Baixa densidade de infauna
4	Praia de areia grossa	-	5-15°	Alta	Média (até 25cm)	Difíceis, podendo o equipamento de limpeza misturar ainda mais o óleo com o sedimento	Baixa densidade de infauna
5	Praia de areia mista (cascalho e areia)	-	8-15°	Muito alta	Alta (até 50cm)	Dificultada pela profundidade de percolação do óleo, além da baixa trafegabilidade	Baixa densidade de infauna e epifauna, com exceção da zona entremarés
6	Praia de cascalho e seixos	-	10-20°	Muito alta	Muito alta (mais de 100cm)	Dificultada pela profundidade de percolação do óleo, além da baixa trafegabilidade	Baixa densidade de infauna e epifauna, com exceção da zona entremarés
7	Planície de maré	Exposta	Praticamente nula	Baixa	Limitada pela saturação do sedimento	Dificultada pelo potencial de mistura do óleo	Elevadas densidades de infauna
8	Costão rochoso	Abrigado	Maior que 15°	Fixo	Impermeável	Complicada pela dificuldade de acesso	Abundância de algas e organismos epibiontes

NOAA, 2002							
ISL	Tipo de Ecossistema	Exposição	Inclinação	Mobilidade do sedimento	Penetração do óleo	Ações de Limpeza	Biota
9	Planície de maré	Abrigada	Praticamente nula	Baixa	Limitada pela saturação do sedimento	Praticamente inviável (baixa trafegabilidade e dificuldade de acesso)	Densidades de infauna extremamente altas
10	Pântanos, banhados, marismas, tundras, manguezais	-	Nula	Baixa	Limitada pela saturação do sedimento	Inviável devido ao elevado valor ecológico	Grande diversidade e abundância de espécies

Ressalta-se que a presença de outros recursos sensíveis em um segmento de costa específico como, por exemplo, nidificação de quelônios, não é levado em consideração para o ranking estabelecido pela NOAA (2002). Segundo a instituição, a presença de organismos ou atividades sazonais não são informações que interfiram na sensibilidade do ecossistema como um todo.

As informações da NOAA serviram de base para o Ministério do Meio Ambiente que fez uma adaptação para a realidade dos ecossistemas brasileiros (MMA, 2004; MMA, 2012).

## 2. Sensibilidade dos Ecossistemas da Área de Estudo

A seguir é possível encontrar a descrição da sensibilidade dos ecossistemas encontrados na área de estudo.

- **Costões rochosos**

Os costões rochosos podem apresentar diferentes graus de hidrodinamismo que é determinado principalmente pelos impactos das ondas e heterogeneidade espacial do substrato. Costões expostos sofrem grande pressão hidrodinâmica das ondas e correntes, enquanto costões abrigados ficam livres da interferência desses fatores (LOPES *et al.*, 2007)

Do ponto de vista geomorfológico, são substratos impermeáveis sem poder de deslocamento. Porém, o óleo tende a se aderir rapidamente em sua superfície dificultando sua limpeza. Além disso, é importante lembrar que a configuração dos costões rochosos interfere diretamente na sensibilidade desse ecossistema uma vez que substratos mais fragmentados que ocorrem em áreas abrigadas possibilitam o desenvolvimento de uma comunidade biológica mais expressiva, e ainda permitem o acúmulo de óleo em fissuras, reentrâncias, fendas, etc (MICHEL & HAYES, 1992).

Os costões rochosos abrigados são muito mais sensíveis ao efeito do óleo do que os costões expostos. Nesses ambientes há uma grande dificuldade do óleo ser disperso e eliminado naturalmente, uma vez que a ação das ondas e correntes é mínima. Desta forma, o óleo pode permanecer nas rochas por muitos anos, impedindo ou dificultando o processo de recuperação da comunidade atingida (LOPES *et al.*, 2007). Além disso, os organismos que vivem nos costões abrigados são mais sensíveis ao óleo, pois muitas vezes não possuem conchas ou carapaças para sua proteção (LOPES *et al.*, 2007).

A pressão das ondas e das correntes nos costões expostos causa mortalidade de espécies mais sensíveis e, por isso, apresentam um ambiente com menor biodiversidade de espécies. Já os costões abrigados não sofrem com a pressão hidrodinâmica, que resulta em um alto grau de complexidade com grande riqueza de espécies (LOPES *et al.*, 2007). A comunidade biológica dos costões rochosos (crustáceos, moluscos, e muitos outros como Polychaeta, Porifera, Ascidiacea, Echinodermata, Cnidaria e Bryozoa) apresenta importante valor ecológico no equilíbrio dos ecossistemas costeiros uma vez que representa um rico recurso alimentar para outros grupos faunísticos como aves e peixes (LOPES *et al.*, 2007).

Em geral, a persistência do óleo nos costões expostos é baixa, uma vez que o mesmo não penetra no substrato, sendo rapidamente removido pela ação das ondas. No entanto, os costões podem ter micro-ecossistemas, como fendas abrigadas, fissuras e poças, onde espécies vulneráveis encontram proteção e o óleo pode se acumular (NOAA, 2005).

Segundo o ranqueamento de áreas sensíveis da NOAA (2002) que varia de 1 (menos sensível) a 10 (mais sensível), os costões rochosos presentes na região de estudo se encontram nas seguintes categorias de sensibilidade:

- **Costões rochosos expostos, falésias expostas: 1 – Substrato impermeável vertical e exposto**

Os costões rochosos e falésias expostas apresentam declividade igual ou maior a 30 graus e estão regularmente submetidos à energia das correntes e ondas que tendem a ser fortes, formando uma superfície lisa. Por esse motivo os organismos presentes, ainda que em baixa diversidade, tendem a ser muito resistentes e a adotar estratégias de defesa. O substrato é impermeável, não havendo poder de penetração do óleo e apresenta reduzido potencial para acúmulo do hidrocarboneto devido a sua grande inclinação. A remoção do óleo tende a ocorrer rapidamente através de processos naturais.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012), através das definições dos Índices de Sensibilidade do Litoral (ISL).

- **Costões rochosos expostos: 2 – Substrato impermeável não vertical e exposto**

Assim como a categoria anterior, os costões rochosos expostos não-verticais são submetidos regularmente à forte energia das ondas e correntes que o confere aspecto liso, havendo baixa diversidade de organismos, com elevada resistência. Sua inclinação é menor do que 30 graus o que o faz, apesar de impermeável, um potencial local de acumulação de óleo. Assim como a classe anterior a remoção do óleo tende a ocorrer rapidamente através de processos naturais.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012), através das definições dos Índices de Sensibilidade do Litoral (ISL).

- **Costões rochosos abrigados: 8 – Substrato impermeável e abrigado**

Os costões rochosos protegidos apresentam um substrato rígido que não sofre forte influência de ondas e correntes, criando um ambiente menos dinâmico que dificulta o processo de limpeza natural do óleo. O processo de limpeza desempenhado pelo homem também é dificultado pela própria conformação do

substrato que inviabiliza muitas vezes a entrada de máquinas e equipe de apoio. No que diz respeito aos recursos biológicos associados, geralmente apresentam uma cobertura de algas e organismos epibiontes abundantes. A limpeza é frequentemente necessária devido à baixa taxa de remoção natural, porém, se torna complicada pela dificuldade de acesso.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012), através das definições dos Índices de Sensibilidade do Litoral (ISL).

- **Praias**

As praias podem ser divididas em supra e mediolitoral (porção subaérea) e uma porção subaquática que inclui a zona de arrebentação e se estende até a base das ondas (WRIGHT & SHORT, 1983 *apud* AMARAL *et al.*, 2002). Seu aspecto resulta da interação de diversos fatores que determinam principalmente as características do sedimento (textura, composição, angulação dos grãos e estratificação) como direção dos ventos, regime de tempestades, regime de ondas e topografia da costa (GUNDLACH & HAYES, 1978).

O hidrodinamismo da praia determina o tamanho dos grãos presentes e sua declividade, sendo as praias de baixa declividade (também chamadas de praias dissipativas) compostas por areia de fina granulometria. Já as praias com maior declividade (também chamadas praias reflexivas) são compostas por areia grossa, cascalho ou sedimentos bioclásticos que são consideradas partículas grandes (LOPES *et al.*, 2007). No último caso, o óleo penetra verticalmente no sedimento atingindo camadas mais profundas, podendo superar 25 centímetros de profundidade. Já em praias de areia fina e lamosa, a alta compactação do solo impede a penetração profunda do óleo que acaba ficando retido nas camadas superficiais (LOPES *et al.*, 2007).

Quanto ao grau de exposição, as praias podem ser identificadas desde muito expostas a muito protegidas, sendo a variabilidade física resultante da combinação de parâmetros como nível energético das ondas e granulometria do sedimento. Destes dependem a morfologia do fundo, o padrão de circulação e a dinâmica de correntes (VILLWOCK, 1987 *apud* AMARAL *et al.*, 2002).

No que diz respeito à composição biológica dos ecossistemas praianos, a configuração é extremamente variável, o que depende principalmente das características geomorfológicas e hidrodinâmicas dos locais. Quanto maior o diâmetro do grão e conseqüentemente a declividade da praia, menor a biodiversidade e abundância de espécies (AMARAL *et al.*, 1999). Em contrapartida as praias de areia média, fina e/ou mista são biologicamente mais ricas, sendo superadas apenas pelas praias lamosas que apresentam uma enorme diversidade e abundância de espécies (LOPES *et al.*, 2007). Assumindo-se que a comunidade biológica tem suas características definidas pelas condições ambientais, nas praias de areia grossa, pobres em matéria orgânica e fisicamente instáveis, há predominância de animais filtradores, enquanto nas praias lodosas há o predomínio de espécies comedoras de sedimento (depositívoras), estimuladas pela maior quantidade de matéria orgânica (LOPES *et al.*, 2007).

Quando o óleo atinge o sedimento das praias, principalmente a zona entremarés, todos os componentes da comunidade biológica podem ser diretamente afetados. Os danos imediatos são consequência do recobrimento e da intoxicação (MONTEIRO, 2003). Pode haver ainda mudanças na estrutura e composição das comunidades uma vez que ocorrem alterações nas características físicas e químicas do sedimento, como

aumento da temperatura e redução da circulação e renovação da água intersticial. Pode haver também uma bioacumulação, principalmente através do processo de filtração da água intersticial pelas espécies filtradoras e pela ingestão direta de sedimento pelas espécies depositívoras. Além disso, algumas perturbações podem levar a uma redução da diversidade e riqueza, com aumento da dominância de espécies oportunistas e resistentes (MONTEIRO, 2003).

O processo de recuperação das praias afetadas por vazamento de óleo é muito variável, dependendo de diversos fatores, como hidrodinamismo, tipo de sedimento, tempo de permanência do óleo no ambiente, circulação de massas d'água e proximidade de centros de dispersão de espécies. Outro fator importante é a sensibilidade dos organismos presentes no ecossistema (IPIECA, 2000). De maneira genérica, estudos sugerem que o ecossistema praia é altamente dinâmico e, na maioria dos casos, a energia física das ondas é suficiente para remover os resquícios de óleo em poucos anos após um vazamento (BARTH, 2008). Esse tempo é considerado relativamente baixo, quando comparado a ecossistemas de maior complexidade estrutural e biológica.

Ressalta-se ainda que as praias constituem uma forte atração para o lazer, com significativas implicações econômicas por meio das atividades associadas ao turismo e esportes náuticos. Formam, ainda, importante elemento paisagístico, cuja estética e balneabilidade precisam ser preservadas (GV CONSULT, 2004). Nesse contexto os vazamentos de óleo merecem especial destaque, pois as praias atingidas são, na grande maioria dos casos, o foco principal da mídia e da sociedade, como consequência da elevada demanda socioeconômica desses ambientes (LOPES *et al*, 2007).

Segundo o ranqueamento da NOAA (2002) de áreas sensíveis que varia de 1 (menos sensível) a 10 (mais sensível) as praias se encontram nas seguintes classes de sensibilidade:

- **Praias de areia fina-média: 3 - Substrato semi-permeável com baixo potencial de penetração e soterramento do óleo**

O substrato encontrado nesse ecossistema é caracterizado pela presença de areia fina à média, com baixa penetração de óleo devido ao seu alto grau de compactação. Apresentam uma baixa inclinação (dissipativas) e baixa taxa de mobilidade de sedimentos, o que gera um baixo potencial de soterramento do agente contaminante. No que diz respeito aos aspectos biológicos, as praias de areia fina possuem uma baixa densidade de infauna, que apesar de presente não é abundante. Geralmente as ações de limpeza são viáveis, havendo possibilidade de tráfego de veículos uma vez respeitado o ciclo de marés e eventuais restrições ambientais locais.

O MMA (2012) subdivide o ecossistema praias de areia fina-média em duas categorias distintas de sensibilidade. As praias de areia fina-média presentes em ambientes expostos de baixa inclinação são classificadas como ISL categoria 3 (assim como o NOAA, 2002). Já as praias de areia fina-média presentes em ambientes expostos com média inclinação e àquelas localizadas em ambientes abrigados são enquadradas na categoria 4 do Índice de sensibilidade do litoral, sendo, portanto, mais sensível aos impactos do óleo segundo o MMA.

- **Praias de areia grossa: 4 – Substrato semi-permeável com médio potencial de penetração e soterramento do óleo**

Caracterizado pela presença de areia grossa, a penetração do óleo é considerada média (até 25 cm) e a mobilidade do grão é considerada alta, havendo, por isso, um elevado potencial de soterramento. A inclinação ocupa a categoria média que varia de 5-15° e, assim como as praias de areia fina, a densidade da infauna é considerada baixa. As ações de limpeza geralmente são difíceis, agravadas pela tendência do equipamento de limpeza de misturar ainda mais o óleo com o sedimento.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012) através da classificação do índice de sensibilidade do litoral (ISL).

- **Praias de areia mista (cascalho e areia): 5 – Substrato com permeabilidade média para alta, elevado potencial de penetração e soterramento do óleo**

O ecossistema praia de areia mista apresenta uma variação espacial na distribuição do tamanho dos grãos que acarreta em um alto poder de penetração do óleo que pode atingir até 50 cm. O cascalho compreende pelo menos 20% dos sedimentos e, por não apresentarem um alto grau de compactação, possuem um elevado potencial de mobilidade dos grãos e soterramento do óleo. Com exceção da região de entremarés, tanto as populações de infauna quanto epifauna apresentam baixa densidade. A limpeza é dificultada pela profundidade de percolação do óleo que pode causar erosão e problemas de descarte.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012) através da classificação do índice de sensibilidade do litoral (ISL).

- **Praias de cascalho e seixos: 6 – Substrato com alta permeabilidade, elevado potencial de penetração e soterramento do óleo**

As praias formadas por cascalho são muito permeáveis havendo penetração do óleo até mais de 1 metro. As partículas de sedimento não possuem compactação e, por isso, apresentam alto poder de deslocamento, o que aumenta a probabilidade de soterramento do óleo. Assim como a categoria anterior, com exceção da região de entremarés, tanto as populações de infauna quanto epifauna apresentam baixa densidade. Nas praias de cascalho abrigadas das ondas pode haver ainda um intenso acúmulo de óleo dificultando a limpeza natural e ocasionando a permanência do mesmo por um longo período. Assim como para a classe anterior a limpeza é dificultada pela profundidade de penetração do óleo e baixa trafegabilidade no substrato.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012) através da classificação do índice de sensibilidade do litoral (ISL).

- **Planícies de maré**

Por suas condições geomorfológicas, hidrodinâmicas e biológicas, as planícies de maré são ambientes mais sensíveis ao óleo que as praias (MICHEL & HAYES, 1992). Devido ao seu baixo declive, em geral apresentam uma extensa zona entremarés, especialmente em regiões com elevada amplitude de maré como a costa do Maranhão (LOPES *et al.*, 2007).

Podem ocorrer tanto em áreas abrigadas da ação direta das ondas, havendo deposição de sedimentos finos (lamosos), quanto em ambientes expostos à ação das ondas que propicia a formação de sedimentos arenosos mais compactos e firmes (LOPES *et al.*, 2007).

Esse ecossistema, devido à relativa estabilidade física e abundância de alimento pela deposição de matéria orgânica, são considerados muito ricos do ponto de vista biológico. São propícios ao desenvolvimento de comunidades bentônicas de invertebrados com populações abundantes de crustáceos, moluscos, anelídeos e equinodermas que podem chegar a vários milhares de indivíduos por metro quadrado (DITTMANN, 2002).

A abundância de invertebrados descrita funciona como um atrativo para peixes, mamíferos e aves da zona costeira que utilizam esse ambiente para reprodução, alimentação e proteção contra predadores (LOPES *et al.*, 2007).

Segundo a NOAA (2002) em seu ranqueamento de áreas sensíveis que varia de 1 (menos sensível) a 10 (mais sensível), as planícies de maré se encontram nas seguintes categorias de sensibilidade:

- **Planícies de maré expostas: 7 – Substrato permeável plano com infauna geralmente abundante**

Esse ecossistema apresenta uma inclinação praticamente nula onde ocorre a deposição do sedimento arenoso, podendo haver ainda alguns componentes como cascalho e lodo. Apesar de ser encontrado em ambientes expostos, sua exposição às ondas e correntes é pequena, dificultando o processo de degradação natural do óleo. O substrato, apesar de permeável, é saturado de água, o que limita a penetração do óleo. No que diz respeito às comunidades biológicas, são ambientes com elevadas densidades de infauna. Apesar de suas partículas não apresentarem elevada mobilidade e capacidade de soterramento do óleo, a limpeza das planícies de maré expostas é considerada muito difícil devido ao potencial de mistura do óleo, especialmente pelo pisoteamento do substrato.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012) através da classificação do índice de sensibilidade do litoral (ISL).

- **Planícies de maré abrigadas: 9 – Substrato semi-permeável plano com infauna geralmente muito abundante**

Assim como as planícies de maré expostas, apresentam inclinação praticamente nula onde ocorre a deposição de substratos lamosos muito finos. Da mesma forma o sedimento é saturado de água, limitando a penetração do óleo. Nesse ecossistema não ocorre praticamente nenhuma ação da energia de ondas e correntes, o que propicia a ocorrência de uma abundante infauna, ainda maior do que a densidade encontrada nas planícies de maré expostas e dificulta a limpeza natural do óleo. Por apresentar um substrato macio que dificulta a trafegabilidade de recursos humanos e máquinas, o acesso a esse ecossistema é limitado, tornando a sua limpeza quase inviável.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012) através da classificação do índice de sensibilidade do litoral (ISL).

- **Manguezais**

Segundo GUNDLACH E HAYES (1978) os manguezais podem ser classificados como o ecossistema mais sensível aos impactos de um vazamento de óleo.

É considerado um ecossistema-chave cuja preservação é crítica para o funcionamento de outros ecossistemas maiores e mais diversos (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999). Estão entre os mais produtivos ecossistemas terrestres, sendo extremamente ricos em espécies animais (IPIECA, 1993; LOPES *et al.*, 2007). A fauna dos manguezais possui alta diversidade, principalmente porque o ambiente é rico em matéria orgânica (DUKE, 1997). Com isso, grande número de espécies detritívoras e microrganismos decompositores ocorrem no sedimento. Além disso, apresentam uma variedade de micro-habitats disponíveis como refúgio, proteção e área de reprodução de diversos grupos de animais residentes e/ou sazonais como aves, peixes, quelônios-marinhos e mamíferos-marinhos (LOPES *et al.*, 2007).

De acordo com GETTER *et al.* (1984) *apud* SOARES (2003) os efeitos do óleo sobre o ecossistema manguezal podem ser agudos, se manifestando a curto prazo, ou crônicos, se manifestando em médio e longo prazos. O impacto inicial pode levar à mortalidade em massa dos bosques de mangue devido à asfixia e posteriormente o impacto crônico pode levar a uma gradual expansão da área morta. Isso ocorre devido ao enfraquecimento de indivíduos que sobreviveram ao impacto inicial e aos efeitos residuais do impacto agudo associados à exposição crônica a produtos tóxicos que permanecem no substrato. Além disso, há o efeito da alta toxicidade de alguns constituintes do petróleo sobre a cobertura vegetal. De acordo com SOARES *et al.* (2006) diversos autores relatam a mortalidade em massa e imediata de bosques de mangue afetados por derramamentos de petróleo e derivados.

O óleo entra nos manguezais quando a maré está alta e se deposita nas raízes aéreas e na superfície do sedimento quando a maré retrocede. Os organismos que vivem no ecossistema são afetados de duas formas: primeiro poderá haver altas taxas de mortalidade como um resultado direto do contato do óleo e depois haverá perda de habitat para os organismos que vivem nos ramos e copas das árvores e no sistema de raízes aéreas (IPIECA, 1993).

De acordo com SOARES (2003) os hidrocarbonetos podem persistir por décadas no sedimento do manguezal, levando a efeitos posteriores sobre esse ecossistema e sobre outros adjacentes. A recuperação de todo o ecossistema de manguezal dependerá dos processos naturais subsequentes.

Segundo o ranqueamento de áreas sensíveis da NOAA (2002) que varia de 1 (menos sensível) a 10 (mais sensível), os manguezais se encontram na seguinte categoria de sensibilidade:

- **Manguezais: 10 – Substrato plano alagado com vegetação emergente**

Apresentam substrato plano geralmente lamoso rico em matéria orgânica e saturado de água, que limita a penetração do óleo. Diversos tipos de vegetação de zonas úmidas estão presentes entre flutuantes e submersas e possuem um elevado potencial biológico com grande diversidade e abundância de espécies. A limpeza desse ecossistema é considerada muito difícil uma vez que os danos adicionais que podem ser gerados ao ecossistema ainda não são bem conhecidos.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012) através da classificação do índice de sensibilidade do litoral (ISL).

- **Banhados**

Os banhados formam um ecossistema composto por brejos ou pântanos, lagoas de água doce, lagoas de água salobra ou salgada sem influência marinha direta, várzeas, savanas e florestas inundadas (periódica ou temporariamente) e campos inundados, localizados na Zona Costeira (MMA, 2002).

Esse ecossistema possui uma elevada biodiversidade de animais adaptados às áreas alagadas, em especial aves, anfíbios, peixes, moluscos e alguns mamíferos. Sendo assim, pode ser considerado um importante reservatório genético (MURADÁS, 2012).

As variações das concentrações de nutrientes influenciadas pelo fluxo de água interferem diretamente nas espécies presentes, já que muitas apresentam limite de tolerância à correnteza (ODUM, 1888 apud MURADÁS, 2012).

Caracterizado por possuir um sedimento fino e apresentar grande quantidade de matéria orgânica acumulada, os banhados são extremamente sensíveis ao impacto do óleo (HOFF, 1995). A complexidade da ecologia dos banhados afeta diretamente a severidade dos impactos nesse ecossistema e também complica ações de limpeza, já que parâmetros como tipo de substrato, espécies vegetais, estação do ano, tipo de óleo e clima podem interferir no processo de recuperação (HOFF, 1995).

Segundo HESTER e MENDELSSOHN (1999) a penetração de óleo no substrato do banhado ocorre através dos colmos das plantas presentes e através das galerias subterrâneas feitas por caranguejos. O contato prolongado do óleo com a vegetação e a consequente movimentação do mesmo no substrato, podem ser classificados como as principais causas dos graves efeitos nesse ecossistema (*Ibdi*).

Apesar de sua importância ecológica, chama a atenção a pouca importância dada aos banhados no Brasil, que se reflete diretamente na falta de estudos desenvolvidos nessa área (MMA, 2002).

Segundo o ranqueamento de áreas sensíveis da NOAA (2002) que varia de 1 (menos sensível) a 10 (mais sensível), os banhados se encontram na seguinte categoria de sensibilidade:

- **Banhados: 10 – Substrato plano alagado com vegetação emergente**

Apresentam substrato plano geralmente lamoso rico em matéria orgânica e saturado de água, que limita a penetração do óleo. Diversos tipos de vegetação de zonas úmidas estão presentes entre flutuantes e submersas e possuem um elevado potencial biológico com grande diversidade e abundância de espécies. A limpeza desse ecossistema é considerada muito difícil uma vez que os danos adicionais que podem ser gerados ao ecossistema ainda não são bem conhecidos.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012) através da classificação do índice de sensibilidade do litoral (ISL).

- **Estuários**

O ecossistema estuário funciona como uma complementação ao ecossistema manguezal, uma vez que suas áreas são adjacentes. Os manguezais são responsáveis pela exportação de nutrientes para os estuários que por sua vez apresentam uma alta fertilidade e intensa atividade fitoplanctônica (LOPES *et al.*, 2007).

Os ambientes estuarinos são altamente sensíveis ao vazamento de óleo por serem áreas muito complexas que abrigam um mosaico de ecossistemas sensíveis e uma alta biodiversidade, além de fonte de extração de recursos por muitas comunidades (CANTAGALLO *et al.*, 2008). Ao atingir um estuário, o óleo impacta animais e plantas marinhas, pois impede que o oxigênio penetre na água e consequentemente acarreta a asfixia em diversas espécies mais sensíveis (CANTAGALLO *et al.*, 2008).

Analisando o conjunto de fatores de sensibilidade em um estuário, pode-se concluir que o impacto de um vazamento de óleo nesse ambiente pode ser definido como direto, quando são considerados os efeitos em organismos presentes naquele próprio ecossistema ou ainda indiretos quando são considerados os efeitos em outros organismos, através da cadeia trófica e/ou da ciclagem de nutrientes (MEAGHER, 2010). Os impactos variam em função de vários fatores incluindo a quantidade de óleo derramado, o tipo de óleo, distância da fonte de vazamento, latitude, estação do ano e ainda a estrutura física e biológica dos próprios estuários como fluxo de correntes marinhas (GETTER *et al.*, 1984).

Estudos a respeito do impacto do óleo em ambientes estuarinos ainda são escassos na literatura científica. Apesar de existir um volume considerável de informações quanto aos impactos do óleo em marismas e manguezais, muito pouco se é abordado a respeito propriamente dos estuários.

Segundo a NOAA (2002) em um ranqueamento de áreas sensíveis que varia de 1 (menos sensível) a 10 (mais sensível), os estuários se encontram na seguinte categoria de sensibilidade:

- **Estuários: 10 – Substrato plano alagado com vegetação emergente**

Apresentam substrato plano geralmente lamoso rico em matéria orgânica. Diversos tipos de vegetação de zonas úmidas estão presentes entre flutuantes e submersas e possuem um elevado potencial biológico com grande diversidade e abundância de espécies. A limpeza desse ecossistema é considerada muito difícil uma vez que os danos adicionais que podem ser gerados ao ecossistema ainda não são bem conhecidos.

Essas informações são corroboradas pelo MMA (2012) através da classificação do índice de sensibilidade do litoral (ISL).

- **Restingas**

Os ecossistemas costeiros terrestres transicionais, como as restingas são desconsiderados durante as operações de emergência que envolvem vazamentos de óleo no mar. Isso ocorre porque esses ambientes não são diretamente vulneráveis ao óleo e, por isso, deixam de ser objeto de limpeza pelas equipes de combate (LOPES *et al.*, 2007). Porém, deve-se considerar que esse ecossistema pode ser encontrado em toda a faixa litorânea da costa brasileira, sendo parte importante na manutenção da biodiversidade (VARGAS *et al.*, 2010).

Solos sob vegetação de restinga são arenosos e, em geral, apresentam baixos teores de matéria orgânica e limitada capacidade de suporte para o desenvolvimento das plantas. A baixa capacidade de reter água e nutrientes, que são essenciais à manutenção dos componentes biológicos do sistema, faz com que as formas orgânicas e a biota exerçam papel crucial na fertilidade desses solos (MANLAY *et al.*, 2000; GOMES *et al.*, 2010).

A NOAA em seu guia de sensibilidade ambiental, adotado internacionalmente e utilizado como base para diversos outros estudos, não inclui o ecossistema restinga. Porém, no documento originado a partir do guia da NOAA e produzido pelo Ministério do Meio Ambiente, que adapta as informações para realidade brasileira, as restingas encontram-se na categoria 3 do Índice de Sensibilidade do Litoral, em uma escala crescente que varia de 1 a 10 (MMA, 2012). O MMA (2012) reconhece que as restingas apresentam grande importância na estabilização do substrato e suscetibilidade direta (em situações de ressaca) e indireta a vazamentos de óleo.

Em caso de contato direto com o óleo, existe um baixo potencial de penetração do mesmo devido à compactação do solo. Pelo mesmo motivo, a taxa de mobilidade do sedimento é baixa, o que reduz a chance de soterramento do óleo (MMA, 2012). Do ponto de vista biológico as restingas suportam rica e diversa comunidade animal, que se desenvolve nos nichos oferecidos pela vegetação (PEDROSO JÚNIOR, 2003) representada principalmente por répteis e aves (SCHNEIDER & TEIXEIRA, 2001). Porém apresentam uma baixa densidade de infauna que são os principais recursos biológicos afetados pelo óleo (MMA, 2004).

- **Recifes de coral**

Os recifes de corais formam o único ecossistema onde devem ser considerados tanto os impactos reais quanto os impactos potenciais da atividade, haja vista que podem ser impactados tanto pelo contato direto com o óleo, quanto pelas atividades normais de operação *offshore*.

Eles abrigam uma grande diversidade biológica, configurando-se como um importante patrimônio ecológico do litoral (LOPES *et al.*, 2007). É válido lembrar que a área de estudo é conhecidamente uma área com pouca abundância de recifes de coral, havendo sido descrito apenas o Banco do Tarol, o Banco do Álvaro e o Parcel Manuel Luís, que estão localizados a aproximadamente 80 km do continente (LOPES *et al.*, 2007), e a uma distância mínima de cerca de 100 km dos blocos da BG (setor SBAR-AP1 - Bloco BAR-M-215).

No Brasil, a atividade petrolífera próxima a várias áreas recifais é causa de preocupação quanto a futuros impactos sobre as populações de indivíduos que ali vivem.

- **Impactos potenciais:**

O óleo reduz a fertilidade do coral, diminui o sucesso reprodutivo e inibe o desenvolvimento dos estágios primários de vida. A substância também prejudica dois componentes fundamentais para toda a comunidade recifal: a produção primária pelas zooxantelas simbiotes e a transferência de energia através do muco de corais. Outro efeito adverso é a bioacumulação de forma rápida nos tecidos dos corais. Além dos efeitos nos corais, o óleo irá impactar os organismos associados como plantas, peixes e invertebrados, causando danos a todo ecossistema (NOAA, 2010).

A severidade dos impactos da exposição dos corais ao óleo e o tempo de recuperação pode variar de acordo com uma série de fatores como o tipo e quantidade de óleo, a composição e estrutura das espécies e a natureza da exposição ao óleo (IPIECA, 1992; NOAA, 2010). O óleo pode matar o coral dependendo da espécie e exposição. Corais com colônias arborescentes são mais sensíveis aos impactos por óleo do que corais de colônias massivas. Estudos apontam que a exposição prolongada a baixos níveis de óleo pode matar os corais assim como exposições com menor duração e maior concentração (LOYOLA & RINKEVICH, 1980; NOAA, 2010). A toxicidade crônica do óleo impede a reprodução dos corais, seu crescimento e desenvolvimento. A época do ano em que ocorre um vazamento também pode ser crítica, uma vez que a reprodução e os corais nos primeiros estágios de vida são particularmente sensíveis (NOAA, 2010).

Considera-se que os recifes de coral presentes em águas rasas são muito mais sensíveis do que os recifes localizados em águas mais profundas, uma vez que os primeiros estão sujeitos à exposição e contato com o óleo durante as marés baixas, sofrendo os efeitos tanto do recobrimento físico como da intoxicação química (NOAA, 2001; MARCHIORO & NUNES 2003).

MICHEL E HAYES (1992) definiram algumas classes de suscetibilidade dos recifes de corais ao contato com o óleo. Sendo assim, recifes de coral localizados a mais de 5 metros de profundidade apresentam baixa suscetibilidade, os encontrados em profundidades entre 1 e 5 metros apresentam média suscetibilidade enquanto os recifes com alta suscetibilidade encontram-se presentes na região entremarés, em locais abrigados da ação das ondas.

É importante salientar ainda que diversos grupos faunísticos vivem em associação com os recifes de coral e por isso, sofrem impactos adicionais pela contaminação com óleo. Peixes pelágicos, tartarugas marinhas e mamíferos marinhos que frequentam sazonalmente a região e desenvolvem atividades reprodutivas, alimentares e buscam abrigo contra predadores são exemplos disso (LOPES *et al.*, 2007).

A NOAA em seu guia de sensibilidade ambiental, adotado internacionalmente e utilizado como base para diversos outros estudos, não inclui o ecossistema recifes de coral uma vez que avalia que são tipicamente submersos, estando submetidos a cenários diferentes dos ecossistemas encontrados na região entremarés. Porém, no documento originado do guia da NOAA e produzido pelo Ministério do Meio Ambiente que aponta os Índices de Sensibilidade Ambiental do litoral ao óleo, os recifes de coral encontram-se na categoria 9 de sensibilidade, em uma escala crescente que varia de 1 a 10 (MMA, 2012).

A categoria 9 é composta por substratos semipermeáveis, planos e abrigados como as planícies de maré abrigadas, porém, pelo seu grau de importância ecológica e complexidade de limpeza, os recifes de coral são também colocados nessa mesma categoria.

Essa classe alta de sensibilidade se deve ao fato dos recifes com colônias de corais constituírem um ecossistema de grande diversidade biológica; grau de exposição a ondas e inclinação variável; substrato rugoso característico de concreções biológicas de grande heterogeneidade; permeabilidade variável e grande aderência, agravada pela presença de orifícios feitos por animais além da baixa ou nenhuma trafegabilidade (MMA, 2004).

### - Impactos reais:

Os impactos provenientes das atividades normais de uma operação *offshore* também podem atingir os recifes de coral.

As rotas de transporte marítimo são a principal causa de estresse aos organismos, em áreas de águas rasas. Na Austrália, onde existe a maior concentração de recifes coralíneos do mundo, em aproximadamente 15 anos (em uma época em que presença de navios de petróleo ainda não era tão abundante) foram registradas 19 colisões de navios com recifes de coral (RAAYMAKERS, 1994). O risco de choque com âncoras lançadas também é considerado um impacto grave que deve ser levado em consideração para a proteção do ecossistema (LOPES *et al.*, 2007).

Além do risco de choque mecânico, o intenso tráfego de embarcações motorizadas, em águas rasas, pode causar suspensão do fundo marinho que ocasiona redução da taxa de crescimento dos corais e da sua capacidade de resiliência, tornando-os mais sensíveis a outros impactos como aqueles causados pelo aquecimento global. Em grandes concentrações os sedimentos podem recobrir os corais levando-os à morte (LOPES *et al.*, 2007). Além disso, durante a perfuração de poços, a lama de perfuração (cascalho com fluido de perfuração agregado) é lançada na lâmina d'água, sendo então dispersa por correntes locais, depositando-se no substrato, fazendo com que ocorra redução (que pode ser irreversível em alguns casos) dos níveis de biomassa, por soterramento e/ou diminuição da transparência da água (MMA, 2004). A própria atividade de perfuração dos poços e ancoragem de embarcações e sondas de perfuração podem causar danos aos recifes, caso estes ocorram na área da atividade.

Sendo assim, considerando os impactos reais da atividade *offshore* e os riscos já citados, é possível concluir que os recifes de coral de águas rasas são mais suscetíveis do que os recifes de águas mais profundas, uma vez que seu risco de colisão é maior, assim como o risco de soterramento pela suspensão de sedimentos.

Vale mencionar que em função da atividade em questão situar-se em águas profundas (> 1.500 m), e que os recifes mais próximos (Banco do Tarol, Banco do Álvaro e Parcel Manuel Luís) estarem situados a uma distância mínima de cerca de 100 km dos blocos da BG na Bacia de Barreirinhas, não são esperados impactos operacionais como os citados para a presente atividade.

### 3. Conclusão

A sensibilidade da área permite identificar a vulnerabilidade e a sustentabilidade da mesma. A relação entre as duas primeiras e a última é inversamente proporcional, logo quanto mais sensível, mais vulnerável e menos sustentável é a área, isto é, o grau de exposição do local e a capacidade em suportar determinadas ações antrópicas e impactos ambientais (NOVAES *et al.*, 2007).

Considerando as características físicas e biológicas dos ecossistemas da área de estudo, é possível concluir que alguns são mais sensíveis aos impactos das atividades *offshore* do que outros. Segundo o MMA (2012), os ecossistemas têm sua sensibilidade definida em três níveis: baixa, média e alta.

De forma genérica os ecossistemas com baixa sensibilidade são àqueles enquadrados nas categorias 1, 2, 3 e 4. Os ecossistemas com média sensibilidade são aqueles que se encontram nas categorias 5, 6, 7 e 8, enquanto os que são enquadrados nas categorias 9 e 10 são os que apresentam alta sensibilidade (MMA, 2012). O detalhamento da classificação da sensibilidade em três níveis para cada ecossistema presente na área de estudo pode ser encontrado na **Tabela II.6.2.8.2**.

**TABELA II.6.2.8.2 – Classificação em três níveis da sensibilidade dos ecossistemas presentes na área de estudo.**

Sensibilidade	Ecossistema	Categoria
BAIXA	Costões rochosos expostos com grande declividade	1
	Costões rochosos expostos com declividade média e baixa	2
	Restingas	3
	Praias de areia fina-média expostas e com baixa declividade	3
	Praias de areia fina-média expostas e com média declividade	4
	Praias de areia fina-média abrigadas	4
	Praias de areia grossa	4
MÉDIA	Praias de areia mista (cascalho e areia)	5
	Praias de cascalho	6
	Planície de maré exposta	7
	Costões rochosos abrigados	8
ALTA	Planícies de maré abrigada	9
	Recifes de coral	9
	Manguezais	10
	Banhados	10
	Estuários	10

Fonte: MMA, 2012.

Sendo assim, fica claro que entender a dinâmica dos ecossistemas como um todo é fundamental para determinação de sua sensibilidade frente a um vazamento de óleo. Considerando as particularidades de cada local onde os ecossistemas se encontram, determinar a sensibilidade ainda constitui em um desafio científico e tecnológico para os pesquisadores que atuam na área (ALMEIDA, 2008).