



PROJETO
**COSTA
NORTE**

VOLUME 2



Projeto Costa Norte

A região da Margem Equatorial Brasileira é marcada pela riqueza biológica única associada à forçantes ambientais de extrema energia. Além disso, é também considerada uma nova fronteira para a indústria de O&G cuja atividade exploratória faz emergir a preocupação com a conservação dos ativos ambientais.

O principal objetivo científico do Projeto Costa Norte é desenvolver metodologias que melhorem a compreensão da vulnerabilidade das florestas de mangue a derramamentos de óleo. A complexidade das questões científicas associadas a este tema, particularmente em suas vertentes socioambientais, demandam a adoção de abordagem interdisciplinar para que, partindo das especificidades de áreas de conhecimento, se desenvolvam metodologias que abarquem tal complexidade.

O Projeto Costa Norte foi financiado com recursos de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Petróleo (ANP), através da empresa Enauta, e contou com a participação das seguintes instituições:



O Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho da Universidade Federal do Pará desenvolve pesquisas científicas e trabalhos técnicos há 8 anos na região costeira amazônica. Realiza coleta de dados oceanográficos, desenvolvimento e aplicação de modelos hidrodinâmicos e de transporte em diferentes escalas, desde a porção fluvial até a plataforma continental, e contribui na formação de recursos humanos em dois cursos de graduação e em quatro pós-graduação.

Atuação no projeto: Coleta de dados oceanográficos na plataforma continental amazônica; Desenvolvimento de modelo hidrodinâmico para os rios Amazonas e Pará, integrando-os a modelo costeiro; Coleta de dados para a implementação de modelos hidrodinâmicos em estuários amazônicos; Determinação das áreas inundáveis destes estuários através de modelagem acoplada ao modelo digital de terreno dos manguezais.



O Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia da COPPE representado no projeto Costa Norte pelo seu Núcleo de Modelagem Ambiental vem, ao longo de 17 anos, desenvolvendo pesquisa nas áreas de Modelagem Computacional Ambiental, Análise de Dados Ambientais e Sensoriamento Remoto. Os objetivos principais do grupo tem sido a formação acadêmica e a capacitação profissional além da idealização e execução de projetos de P&D na áreas de pesquisa mencionadas.

Atuação no projeto: Desenvolvimento de um modelo hidrodinâmico em escala regional utilizando técnicas de assimilação de dados oceanográficos; Desenvolvimento de modelos hidrodinâmicos costeiros contemplando a simulação de processos de inundação; Mapeamento de Ecossistemas Costeiros em escala regional a partir do processamento e análise de imagens de satélite de alta e média resolução espacial.



O Núcleo de Estudos em Geoquímica e Ecologia Marinha e Costeira – NEGEMC desenvolve pesquisas oceanográficas e ecológicas relacionadas aos ecossistemas costeiros, com foco no ecossistema manguezal, e em pesquisas de amplo espectro relacionadas à geoquímica orgânica marinha. As linhas de pesquisa desenvolvidas pelo NEGEMC são bastante abrangentes. Merecem destaque os estudos relacionados às diferentes funções do ecossistema manguezal e que contemplam sua importância ecológica, econômica, social e cultural; e as avaliações do sequestro e estoque de carbono na vegetação e nos sedimentos da região costeira, pesquisa que contribui para o entendimento da mitigação das mudanças climáticas globais e, ao mesmo tempo, promove o avanço da conservação dos ecossistemas costeiros. Assim, a proposta deste grupo de pesquisa é unir diferentes competências científicas na busca pela excelência acadêmica na região costeira brasileira. No Projeto Costa Norte, o NEGEMC atua em parceria com o Laboratório de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (ESPAÇO), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e com o Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA).

Atuação no projeto: Levantamento Fitossociológico; Mapeamento em Alta Resolução das fitofisionomias; Levantamento por LiDAR; Desenvolvimento de metodologia para determinação da Vulnerabilidade das Áreas de Manguezal à Contaminação por Óleo no Mar.



A Prooceano é uma empresa brasileira, de base tecnológica, que atua na área de oceanografia offshore e costeira, com forte atuação no segmento de Óleo & Gás. Tendo como foco o desenvolvimento e implementação de tecnologias de ponta para demandas operacionais e ambientais deste segmento, o caminho para projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação foi natural. Em seus 17 anos de existência, conta em seu portfólio com várias experiências em projetos de P&D, financiados por empresas e instituições. No papel de propor, liderar ou colaborar com universidades e institutos de pesquisa nacionais e estrangeiros, atua como elo entre mercado, academia e governo.

Atuação no projeto: Desenvolvimento dos sistemas de modelagem de transporte de poluentes, desenvolvimento de metodologias e ferramentas para determinação das regiões suscetíveis a serem atingidas por vazamentos acidentais de óleo, particularmente, nas bacias Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, suporte à coleta de dados oceanográficos, desenvolvimento, implementação e manutenção de banco de dados e plataforma Web e coordenação geral do projeto.



PROJETO
COSTA
NORTE

Coordenação Científica do Projeto Costa Norte

Prof. Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz –
ESPAÇO/UFRJ

Prof. Dr. Filipe de Oliveira Chaves -
NEGEMC/UERJ

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini –
PROOCEANO

Prof. Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad –
LAMCE/UFRJ

Prof. Dr. Marcelo Rollnic – LAPMAR/UFPA

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares -
NEGEMC/UERJ

Coordenação Geral do Projeto

Ma. Maria Eduarda Pessoa- ENAUTA

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini -
PROOCEANO

Bel.^a Anne Goni Guedes - ENAUTA

Bel.^a Dyellen Soares Queiroz – ENAUTA

Coordenação de Comunicação do Projeto

Frederico Luna Rinaldi – PROOCEANO

Rebeca Kiperman – ENAUTA

Sumário – Volume 2

| | |
|--|------|
| 1. Introdução..... | 264 |
| 2. Áreas de Estudo Específicas | 268 |
| 3. Modelagem Atmosférica | 321 |
| 4. Aquisição de Dados Oceanográficos..... | 358 |
| 5. Levantamento de Dados por LiDAR..... | 506 |
| 6. Processos Costeiros e de Plataforma..... | 556 |
| 7. Modelagem Hidrodinâmica | 597 |
| 8. Modelagem de Dispersão de Óleo | 763 |
| 9. Caracterização do Uso e Cobertura do Solo e da Linha de Costa | 903 |
| 10. Mapeamento das Florestas de Mangue | 1034 |
| 11. Caracterização das Florestas de Mangue | 1128 |
| 12. Plataforma WEB | 1424 |

1. Introdução

O objetivo geral do Projeto Costa Norte (PCN) é desenvolver metodologias para melhorar o entendimento da **vulnerabilidade** das florestas de mangue à derramamentos de óleo. O conceito de **vulnerabilidade** é entendido como composto por três componentes, a **suscetibilidade**, a **sensibilidade** e a **resiliência**. A primeira, se refere ao nível de exposição ao risco, a segunda, à severidade potencial do impacto do óleo no ecossistema, e a terceira, à capacidade de resposta frente ao risco materializado. Ao passo que a **suscetibilidade** é dependente dos locais de vazamento e do manguezal, e das correntes e ventos que transportam o poluente – fatores externos, físicos – a **sensibilidade** e a **resiliência** são relacionadas a características ecossistêmicas do manguezal. Dessa forma, o próprio conceito de **vulnerabilidade** só pode ser definido através da interrelação de campos do conhecimento distintos – notadamente da oceanografia física e biológica.

Posto o entendimento conceitual de **vulnerabilidade**, o caminho escolhido e trilhado pelo PCN na busca de seu objetivo foi o da interdisciplinaridade. Mais do que superposições de visões disciplinares, buscou-se a ação conjunta de diferentes especialidades na construção metodológica.

Dessa forma, o PCN pode ser visto como um sistema complexo, no qual da interação entre as disciplinas emergem características e potencialidades próprias, não existentes ou possíveis em nenhuma parte isoladamente – desta perspectiva, o todo é mais que a soma das partes. Contudo, as características e funções do projeto no nível interdisciplinar não contemplam todo o potencial de cada parte isoladamente. De fato, muitos resultados específicos foram gerados por cada área de conhecimento e, desse ponto de vista, o todo é menos que a soma das partes. Esta dualidade de visão – orientada ao “todo” e as “partes” – e a complexidade das interações entre os núcleos de conhecimentos foi um importante norteador na construção do relatório final do PCN.

Essa tensão e oscilação entre o todo e as partes está presente na evolução do conhecimento humano desde a antiguidade (CAPRA & LUISI, 2014). Bem antes do surgimento do paradigma sistêmico no século XX em contraposição ao paradigma cartesiano, que emergiu ao longo da revolução científica (séculos XVI a XVIII) e se fundamenta na visão mecanicista da natureza, filósofos gregos já distinguiam diferentes perspectivas orientadas à “substância” e ao “padrão”, ou matéria e forma, no entendimento dos fenômenos:

“O estudo da matéria começa com a pergunta: “Do que ela é feita?” Isso leva a noções de elementos fundamentais, blocos de construção, medir, quantificar. O estudo da forma indaga: “Qual é o padrão?” E isso leva às noções de ordem, organização e relações. Em vez de quantidade, envolve qualidade, em vez de medição, envolve mapeamento.”

Fritjof Capra e Pier Luigi Luisi (2014) em “A Visão Sistêmica da Vida”

Um dos desafios na elaboração do relatório final do PCN foi o de refletir a visão sistêmica do projeto e a interdisciplinaridade dos produtos finais, sem, contudo, deixar de contemplar os resultados específicos de cada núcleo de conhecimento. A solução encontrada foi dividi-lo em dois volumes, um orientado ao objetivo geral, metodologias e produtos no contexto da abordagem interdisciplinar que guiou a análise de **vulnerabilidade** (Volume 1) e o outro orientado ao conhecimento específico desenvolvido pelos núcleos de pesquisa, que possibilitou que o objetivo geral fosse alcançado (Volume 2). O Volume 2 parte da perspectiva da substância, ou seja, dos “blocos de construção” de conhecimento, enquanto o Volume 1 parte da perspectiva da forma, da organização e relações entre os núcleos de conhecimento específicos na construção da metodologia integrada para a definição de **vulnerabilidade**.

No presente Volume 2 foi dado enfoque às metodologias e resultados obtidos por cada núcleo de pesquisa, em muitos casos inovadores por si e não necessariamente relacionados com a metodologia para a definição da **vulnerabilidade** de Manguezais das Bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas. O Volume 2 apresenta um formato mais multi do que interdisciplinar, porém sem deixar de tentar conduzir o leitor às interligações entre os desenvolvimentos metodológicos de cada área de conhecimento.

O PCN é constituído por 4 módulos distintos e complementares (Sensoriamento Remoto, Coleta de Dados Oceanográficos, Modelagem Numérica e Caracterização das Florestas de Mangue) e tem enfoque regional das Bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas e específico nos sistemas estuarinos de Turiaçu (MA), São Caetano de Odivelas (PA), Soure (PA) e Sucuriju (AM). O Volume 2 foi dividido em 12 capítulos, apresentados brevemente a seguir.

O Capítulo 1 se dedica a apresentar o Volume 2, os desafios que guiaram sua organização e seu contexto em relação ao relatório final como um todo.

O Capítulo 2, intitulado “Áreas de Estudo – Aspectos Físicos e Biológicos”, realiza uma descrição dos 4 sistemas estuarinos estudados no PCN a partir de dados secundários e pesquisa bibliográfica. A descrição abrange aspectos da Geomorfologia, Meteorologia, Hidrologia, Oceanografia e das Florestas de Mangue e tem por objetivo organizar o conhecimento existente, assim como explicitar suas lacunas.

O Capítulo 3 apresenta os desenvolvimentos da Modelagem Atmosférica, parte integrante do módulo de modelagem numérica. Neste capítulo o leitor irá encontrar uma descrição da implementação de um modelo atmosférico operacional de alta resolução para a Margem Equatorial Brasileira (MEB).

O Capítulo 4 é dedicado ao módulo de “Coleta de Dados Oceanográficos”, e descreve as metodologias adotadas e os resultados obtidos a partir da coleta de dados na região da Plataforma Continental e nas regiões costeiras e estuarinas estudadas. Se relaciona com o levantamento bibliográfico realizado no Capítulo 2 e demonstra a abrangência e profundidade do levantamento de dados realizado no PCN, além de fornecer subsídios para o módulo de Modelagem Numérica.

O Capítulo 5 é dedicado a descrição do levantamento de dados topográficos por LiDAR, uma tecnologia de ponta utilizada na obtenção da topografia e da altura das copas das árvores nas regiões de florestas de mangue da região de estudo. Como será visto, a obtenção da topografia nas planícies de alagamento

colonizadas por manguezal constitui uma das inovações do PCN e se mostrou crucial para o estudo da hidrodinâmica no interior das florestas de mangue e, portanto, para toda a metodologia de **vulnerabilidade**.

O Capítulo 6 é dedicado a descrever alguns dos processos costeiros, estuarinos e de plataforma que puderam ser observados e estudados a partir dos dados coletados e modelos numéricos desenvolvidos.

O Capítulo 7 descreve a implementação, calibração e a análise dos resultados obtidos com os modelos hidrodinâmicos aplicados para diferentes escalas espaciais na PCN e região oceânica adjacente. É subdividido em modelos de bacia oceânica, plataforma continental e modelos estuarinos, desenvolvidos por dois núcleos de pesquisa distintos. Neste capítulo são apresentadas contribuições importantes para esta área do conhecimento, como a pioneira aplicação da técnica de Assimilação de Dados na região da MEB e o refinamento da representação das correntes em regiões de florestas de mangue, obtida a partir da integração dos dados topográficos de LiDAR e de calibrações a partir de dados batimétricos, de nível e de correntes obtidos no PCN.

O Capítulo 8 se enquadra no módulo de Modelagem Numérica e se dedica a apresentar os esforços, metodologias e resultados obtidos na área de modelagem de dispersão de óleo. Este módulo do PCN desenvolveu um modelo de dispersão de óleo on-line, além de metodologias orientadas para a obtenção da Suscetibilidade e Resiliência das florestas de mangue na região de estudo. Tem como uma das principais contribuições o desenvolvimento de uma metodologia de dispersão de óleo probabilística a partir de múltiplos pontos de vazamento.

O Capítulo 9 apresenta as metodologias e resultados do módulo de Sensoriamento Remoto em escala regional, orientado para o mapeamento do Uso e Cobertura do Solo e da Linha de Costa na região de estudo. Com a grande amplitude da maré na MEB, este mapeamento permitiu a obtenção da linha de costa em momentos de maré baixa e em momentos de maré alta, gerando um importante subsídio para modelagem hidrodinâmica, dentre outras possíveis aplicações. O mapeamento do uso e cobertura do solo realizou a classificação georreferenciada da região de estudo quanto aos ecossistemas e aos usos antrópicos, constituindo em si uma importante ferramenta de gestão.

O Capítulo 10 apresenta o resultado da sinergia entre o levantamento de campo e o sensoriamento remoto, em nível aéreo e orbital, e concretiza um dos aspectos de interdisciplinaridade do Projeto Costa Norte. A partir do objetivo de espacializar as fitofisionomias observadas nas áreas de estudo, especialistas em sensoriamento remoto, apoiados por especialistas em ecologia de manguezal, trabalharam para desenvolver algoritmos de identificação de espécies de mangue a partir de imagens óticas satelitais e, integrando os dados de altura das copas das árvores, adquiridos em levantamentos por LiDAR, obter mapas das fitofisionomias identificadas.

O Capítulo 11 descreve o extenso e pioneiro levantamento de campo realizado no PCN para caracterizar as florestas de mangue e suas fitofisionomias em cada uma das áreas de estudo do projeto. Este grande esforço de caracterização das florestas de mangue permitiu não só o aprofundamento do estudo da ecologia dos manguezais na MEB – que representa cerca de 80% dos manguezais brasileiros – mas

também o mapeamento das fitofisionomias nos estuários estudados a partir da sinergia e integração com a área de Mapeamento Digital através do Sensoriamento Remoto.

Por fim, o Capítulo 12 é dedicado à Plataforma WEB do PCN (projetocostanorte.eco.br) e tem o objetivo de apresentar e guiar o leitor nas principais funcionalidades do site, desenvolvido como uma componente transversal à todos os módulos. Através da Plataforma WEB o PCN tem o potencial de se manter “vivo” mesmo após a conclusão da pesquisa, pois reúne as funções de visualização e disponibilização de dados e de aplicação interativa das metodologias desenvolvidas para a análise de Suscetibilidade e **vulnerabilidade** das florestas de mangue a vazamentos de óleo potencialmente ocorridos na região da MEB.

Outro desafio da construção do relatório final do PCN advém das limitações da linguagem escrita em refletir a rede de interações entre as partes que o integram. Uma das formas de contornar esse desafio foi a utilização de referências cruzadas entre os capítulos e volumes deste relatório. O leitor irá encontrar tanto referências cruzadas entre os capítulos – que visam refletir as inter-relações entre os módulos do PCN – quanto referências entre os volumes – que visam indicar ao leitor onde aquele determinado elemento se insere no padrão de organização da metodologia integrada, assunto do Volume 1.

Dessa forma, o Volume 2 compila o extenso trabalho realizado pelas instituições envolvidas no PCN (núcleos de pesquisa da UFRJ, UFPA e UERJ e a empresa oceanográfica Prooceano) e foi escrito por muitas mãos. Espera-se que o leitor desfrute da profundidade técnica e metodológica apresentada nos capítulos subsequentes, explorando-os sob o ponto de vista dos elementos fundamentais que integram o Projeto Costa Norte.