

## Capítulo 5

Primeiros esforços para análise de vulnerabilidade das florestas de mangue do sistema costeiro de Sucuriju (AP)

### Autores do Capítulo

#### **Núcleo de Estudos em Geoquímica e Ecologia Marinha Costeira - UERJ**

Ma. Carla Muniz Sabino

Prof. Dr. Filipe de Oliveira Chaves

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares

#### **Prooceano**

Me. Gabriel Vieira de Carvalho

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini

### Colaboradores

Me. Gabriel dos Santos Duarte

Prof. Dr. Marcelo Rollnic

Dr. Rafael Silva de Barros

Dra. Thaís Angélica da Costa Borba

### Coordenação Científica do Projeto Costa Norte

Profa. 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

Bela. Anne Goni Guedes - ENAUTA

Bela. Dyellen Soares Queiroz – ENAUTA

### Coordenação de Comunicação do Projeto

Frederico Luna Rinaldi - PROOCEANO

Rebeca Kiperman – ENAUTA

### Citação Sugerida

CARVALHO, G.V., SOARES, M.L.G., CHAVES, F.O., SABINO, C.M., PELLEGRINI, J.A.C., “Primeiros esforços para análise de vulnerabilidade das florestas de mangue do sistema costeiro de Sucuriju (AP)”, Capítulo 5. Em: Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira. v.1. Rio de Janeiro (BR), 2020.

## Sumário

5.	Primeiros esforços para análise de vulnerabilidade das florestas de mangue do Sistema Costeiro de Sucuriju .....	223
5.1.	Particularidades do sistema costeiro de Sucuriju .....	223
5.2.	Desafios e Limitações .....	224
5.2.1.	Mapeamento da Superfície Topo-Batimétrica .....	224
5.2.2.	Modelagem Hidrodinâmica .....	225
5.3.	Considerações sobre a vulnerabilidade do sistema costeiro de Sucuriju .....	229
5.3.1.	Suscetibilidade.....	230
5.3.2.	Sensibilidade, Resiliência e Vulnerabilidade .....	239
5.3.3.	Considerações Finais .....	239

## Índice de Figuras

Figura 5-1: Mapeamento de meso escala de uso e cobertura da terra. Sistema Costeiro de Sucuriju (AP), com destaque para os lagos Piratuba, dos Gansos, do Vento e Floriano e para o rio Sucuriju. As cores representam os tipos de uso e cobertura da terra, dentre os quais se destaca a cobertura por Manguezal (cor marrom). .....	224
Figura 5-2: Exemplos do Modelo Digital de Terreno e Modelo Digital de Superfície gerados em trechos de áreas inundáveis pelo levantamento topográfico por LiDAR no sistema costeiro de Sucuriju (AP). .....	225
Figura 5-3: Grade do modelo hidrodinâmico (esquerda) e modelo digital da superfície interpolado para a grade do modelo hidrodinâmico do sistema costeiro de Sucuriju (AP). Na figura a direita, destaca-se em pontilhado a área de levantamento topográfico com LiDAR.....	226
Figura 5-4: A esquerda, resultado do levantamento topográfico por LiDAR na foz do rio Sucuriju em máxima resolução, onde observa-se o detalhamento de micro canais. A direita, comparação da resolução dos dados de altimetria LIDAR já subamostrados a cada 10 metros (pontos coloridos) e a malha discretizada utilizada no desenvolvimento do modelo hidrodinâmico (polígonos). .....	228
Figura 5-5: Zoom no entorno do sistema costeiro de Sucuriju da probabilidade máxima de chegada de óleo a partir dos resultados da rodada de escala <i>offshore</i> considerando 1138 fontes de vazamento distribuídas nas bacias efetivas da Margem Equatorial Brasileira. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita). O polígono em preto representa a bacia efetiva de Foz do Amazonas. ....	232
Figura 5-6: Fontes de vazamento com risco de toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju (AP). Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita). .....	233
Figura 5-7: Distribuição da probabilidade de gerar toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju (AP) nas bacias efetivas da MEB. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita). .....	234
Figura 5-8: Zoom no entorno do sistema costeiro de Sucuriju da distribuição da probabilidade de gerar toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju (AP) a partir das fontes de vazamento nas bacias efetivas da MEB. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita). .....	235
Figura 5-9: Distribuição do tempo mínimo de toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju nas bacias efetivas da MEB. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita). .....	236
Figura 5-10: Zoom no entorno do sistema costeiro de Sucuriju da distribuição do tempo mínimo de toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju a partir de fontes de vazamento nas bacias efetivas da MEB. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita). .....	237
Figura 5-11: Modelo Digital de Terreno nas regiões das florestas de mangue do sistema costeiro de Sucuriju (AP) obtido pelo levantamento topográfico por LiDAR .....	238

## 5. Primeiros esforços para análise de vulnerabilidade das florestas de mangue do Sistema Costeiro de Sucuriju

A escolha das áreas de estudo do Projeto Costa Norte (PCN) se orientou pela representação da diversidade das características ambientais observadas em florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira (MEB). Dessa forma, pôde-se avaliar a aplicabilidade das metodologias desenvolvidas, em diferentes áreas, conferindo robustez e identificando limitações.

Nesse contexto, o sistema costeiro de Sucuriju apresenta particularidades que o distinguem significativamente das demais áreas estudadas. Tais particularidades, que serão aqui descritas, impuseram algumas limitações aos métodos aplicados, representando verdadeiros desafios ao *estado-da-arte* alcançado pelas técnicas aplicadas no PCN. A identificação de limitações é, em si, um importante resultado de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), pois auxilia o planejamento de esforços futuros para ampliar a caracterização e a modelagem deste complexo sistema costeiro.

### 5.1. Particularidades do sistema costeiro de Sucuriju

A grande singularidade e complexidade deste sistema advém da interação entre um sistema de lagos perenes, extensas planícies flúvio-lacustres e flúvio-marinhas, alta pluviosidade anual (>2.800 mm/ano) e regime de hipermarés, com oscilações de nível de até 12 metros de amplitude. Essa configuração resulta em extensas áreas permanente ou ocasionalmente alagadas que conjugam a influência dos ciclos de inundação por água do mar, gerada pelas marés (com alta concentração de sedimentos finos em suspensão associados à pluma do Amazonas) e da inundação por água doce pela influência dos lagos e dos ciclos sazonais de intensa pluviosidade.

Associado a essas características geomorfológicas, hidrológicas e oceanográficas únicas na costa da MEB, a região possui uma cobertura de florestas de mangue particular que se estende desde a costa – onde há a composição mista com predominância de *Rhizophora* spp. e *Avicennia* spp. – até aproximadamente 30 Km para o interior (Figura 5-1) – onde florestas de *Rhizophora* spp. se desenvolvem em áreas permanentemente alagadas por água doce (ver Capítulo 11 do Volume 2).

A conexão entre as planícies alagáveis e o oceano ocorre através do canal principal do rio Sucuriju, dos micro canais de drenagem que conectam as planícies alagáveis ao canal principal e pela inundação da maré por sobre o cinturão de maiores elevações nas margens do sistema com o mar (ver Figura 5-11).

A interação da onda da maré com a morfologia do rio Sucuriju também apresenta algumas particularidades como uma significativa assimetria (a maré vazante tem duração de cerca de 2 vezes mais que a enchente), uma forte atenuação da amplitude da oscilação do nível d'água em direção à montante e a ocorrência periódica do fenômeno da pororoca (ver capítulo 6 e capítulo 4 do Volume 2).

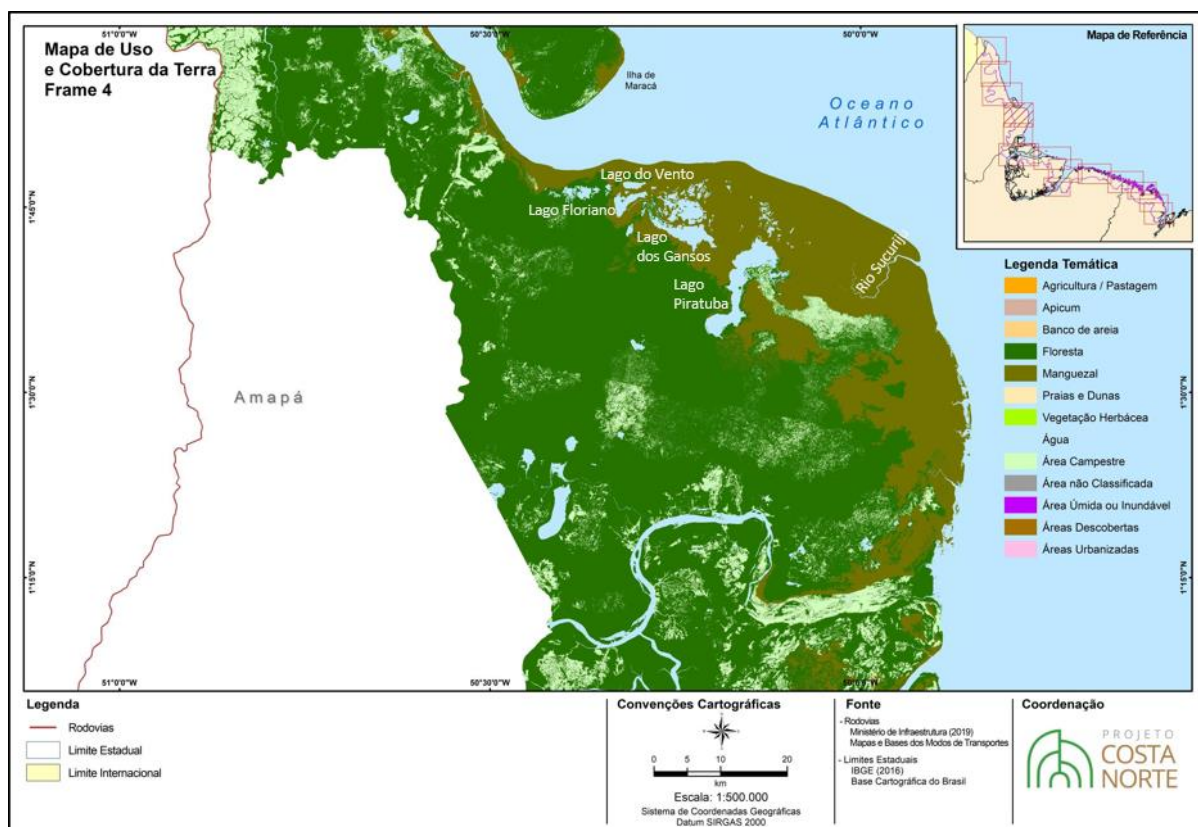


Figura 5-1: Mapeamento de meso escala de uso e cobertura da terra. Sistema Costeiro de Sucuriçu (AP), com destaque para os lagos Piratuba, dos Gansos, do Vento e Floriano e para o rio Sucuriçu. As cores representam os tipos de uso e cobertura da terra, dentre os quais se destaca a cobertura por Manguezal (cor marrom).

## 5.2. Desafios e Limitações

Os desafios e limitações aqui descritos refletem um importante aspecto de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e, particularmente, da abordagem interdisciplinar. As limitações encontradas – mesmo com a aplicação de técnicas sofisticadas e no limiar tecnológico atual – ressaltam o desafio da integração de técnicas, resultados e conhecimentos de diferentes áreas de pesquisa e demonstram a importância deste tipo de abordagem para identificar os limites tecnológicos, possibilitando a construção de novas propostas de estudo.

Assim, passamos a seguir a apresentar os temas onde os desafios e limitações precisam ainda de soluções e aprofundamento para que a metodologia de análise de **vulnerabilidade** desenvolvida pelo Projeto Costa Norte possa ser aplicada no sistema costeiro de Sucuriçu: i) mapeamento da superfície topo-batimétrica; e ii) modelagem hidrodinâmica em alta resolução contemplando as áreas alagáveis do sistema.

### 5.2.1. Mapeamento da Superfície Topo-Batimétrica

O PCN realizou levantamentos batimétricos (ver Capítulo 4, Volume 2) e levantamentos topográficos utilizando a tecnologia de laser aerotransportado (LiDAR, ver Capítulo 5, Volume 2) em todos os sistemas costeiros e estuarinos estudados – incluindo tanto os canais quanto as planícies alagáveis onde se encontram as florestas de mangue, com o objetivo de possibilitar a caracterização e a modelagem hidrodinâmica.

Conforme descrito, diferentemente das demais áreas de estudo do PCN, o sistema costeiro de Sucuriju apresenta significativa influência de água doce proveniente tanto da intensa pluviosidade quanto dos lagos perenes nas extensas áreas alagáveis em seu interior. Desta forma, significativas porções de áreas internas permanecem alagadas mesmo em momentos de baixamar. Essa característica particular permitiu a avaliação dos limites do levantamento topográfico utilizando a tecnologia LiDAR, que necessita de condições de solo seco para mapear adequadamente a topografia.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresenta-se o resultado dos Modelos Digital de Terreno (MDT) e de Superfície (MDS) em um trecho da planície flúvio-marinha com muitas porções alagadas. As áreas sem a textura “rugosa” representam as áreas com superfície com alguma cobertura de água ou solo encharcado e as áreas com “rugosidade”, a vegetação presente no entorno. O levantamento por LiDAR foi capaz, portanto, de revelar toda a complexidade desse sistema, composto por áreas deprimidas, com possibilidade de estarem alagadas, mescladas com áreas mais elevadas e ocupadas por manchas de vegetação de mangue. As áreas deprimidas e inundáveis, no entanto, não possuem sua batimetria (profundidade) conhecida, o que representa uma limitação para o mapeamento topo-batimétrico dessa área de estudo e um esforço adicional para obter esse dado do sistema.

A delimitação de áreas com esse tipo de configuração – áreas deprimidas inundáveis com vegetação no entorno – exigiria o desenvolvimento de uma técnica de processamento dos dados obtidos pelo levantamento por LiDAR para filtrar as áreas alagadas e melhor representar esse complexo sistema. Esse processamento, no entanto, é bastante distinto daquele realizado para os demais sistemas estudados, demandando desenvolvimento e esforços adicionais, conforme mencionado, não previstos no escopo original do PCN.

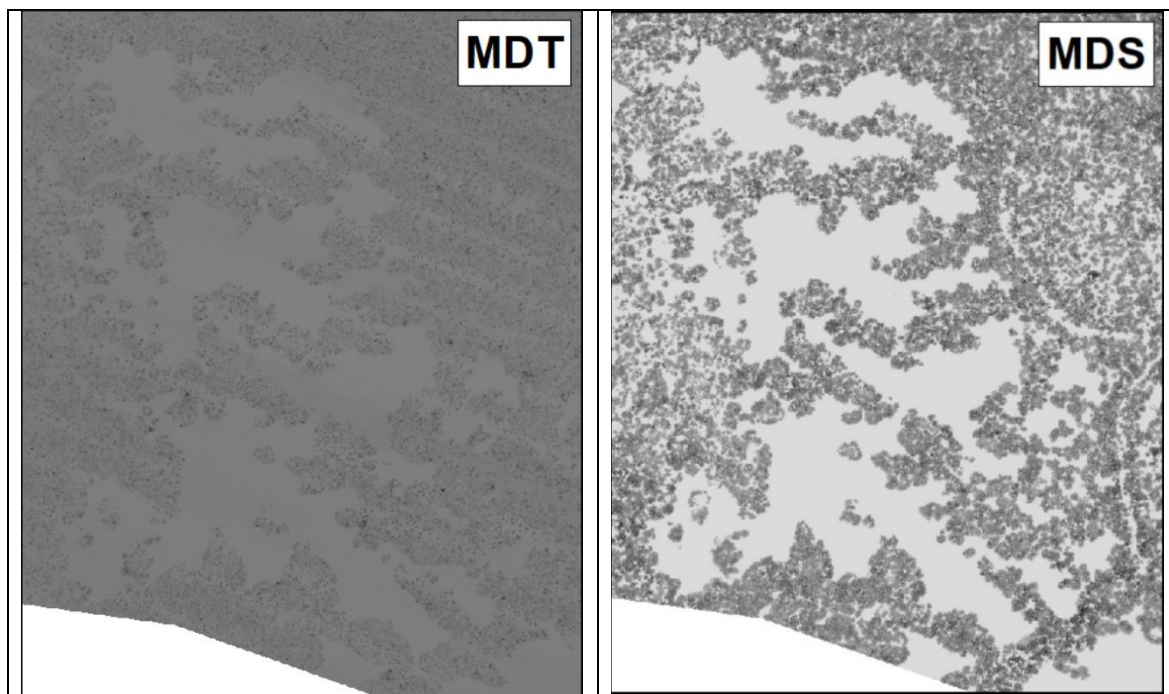


Figura 5-2: Exemplos do Modelo Digital de Terreno e Modelo Digital de Superfície gerados em trechos de áreas inundáveis pelo levantamento topográfico por LiDAR no sistema costeiro de Sucuriju (AP).

### 5.2.2. Modelagem Hidrodinâmica

As características singulares e de extrema energia deste sistema representam um desafio ímpar à modelagem hidrodinâmica. O principal desafio refere-se à representação da dinâmica das águas nas

planícies alagáveis e sua interconexão com o oceano. Esta dinâmica conjuga as influências da pluviosidade, dos lagos e da inundação pelas marés como fontes de água para o sistema. Por outro lado, a drenagem por micro canais, a evaporação e a percolação, são mecanismos de drenagem da água contida nas planícies flúvio-marinhas.

### 5.2.2.1. Modelo Digital da Superfície

De forma a abranger a interconexão entre os lagos, as planícies flúvio-marinhas, o rio Sucuriju e o oceano, definiu-se um amplo domínio de modelagem do sistema costeiro de Sucuriju, discretizado a partir de uma grade de resolução variável. O modelo digital de superfície foi construído com base em cartas náuticas, levantamento batimétrico do rio Sucuriju, levantamento topográfico por LiDAR e dados topográficos do produto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) (Figura 5-3). Maiores detalhes da implementação do modelo neste sistema são destacados no Capítulo 7 do Volume 2.

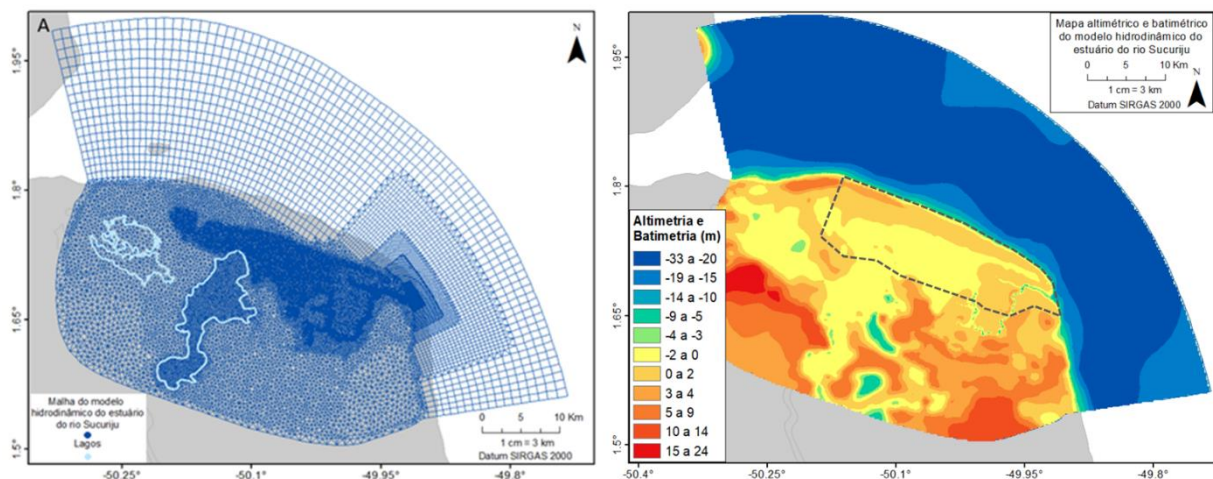


Figura 5-3: Grade do modelo hidrodinâmico (esquerda) e modelo digital da superfície interpolado para a grade do modelo hidrodinâmico do sistema costeiro de Sucuriju (AP). Na figura a direita, destaca-se em tracejado a área de levantamento topográfico com LiDAR.

Contudo, como mencionado anteriormente, a definição da batimetria das áreas alagadas no interior do sistema demandaria esforço adicional de desenvolvimento. Outro aspecto a ser destacado refere-se ao fato da área de levantamento contemplada no PCN ser uma fração de toda a região contemplada pelo domínio do modelo hidrodinâmico (Figura 5-3), que buscou incorporar todos os corpos hídricos conectados ao sistema e que, portanto, possuem potencial de influenciar a hidrodinâmica no interior das florestas de mangue. Por fim, os dados topográficos do SRTM, por sua vez, apresentam severa limitação em mapear a topografia de áreas vegetadas (ver capítulo 7 do volume 2). Portanto, a representação topo-batimétrica do sistema – de extrema relevância para a correta representação da dinâmica das águas nas planícies alagáveis – precisaria considerar esforços adicionais de desenvolvimento, para evitar a incorporação de informações com alto grau de incerteza. Ainda que as características do sistema apontassem para esse maior grau de incerteza, foi importante implementar o método para alcançar um melhor entendimento das limitações.

Todavia, deve-se destacar que parte relevante dos esforços para o processo de modelagem hidrodinâmica, crucial para a análise da vulnerabilidade dos manguezais desse sistema encontra-se realizada, como: (i) construção de uma grade de resolução variável (ii) levantamento topográfico em alta definição por LiDAR de parte das áreas ocupadas por florestas de mangue; (iii) aquisição de dados hidrodinâmicos (oscilação do



nível d'água e corrente) ao longo do rio Sucuriju, que permitem a calibração da propagação da onda de maré.

#### 5.2.2.2. Interconexão entre as Planícies e o Canal Principal.

Apesar das limitações anteriormente apresentadas, optou-se, como parte do processo inerente a um projeto de P&D, pela realização de testes para o processo de modelagem. Assim, durante a calibração do modelo hidrodinâmico – realizada a partir de séries temporais de elevação do nível da água e corrente coletados ao longo do rio Sucuriju no âmbito do Projeto Costa Norte (ver capítulo 4 do volume 2) – detectou-se que a propagação da onda de maré observada no canal principal do rio Sucuriju é altamente dependente da intercomunicação entre o canal, as planícies alagáveis e lagos adjacentes. Contudo, o fluxo proveniente dos lagos e planícies alagáveis em direção ao rio ocorre de uma forma difusa através de diversos micro canais – conforme pôde-se ver em campo e nos dados do levantamento por LiDAR.

Nota-se, no exemplo da Figura 5-4, que mesmo a alta resolução da grade do modelo hidrodinâmico não foi suficiente para representar o maior detalhamento da topografia obtida por LiDAR – em específico os inúmeros micro canais que aumentam a interconexão do fluxo entre o interior do sistema e o rio Sucuriju.

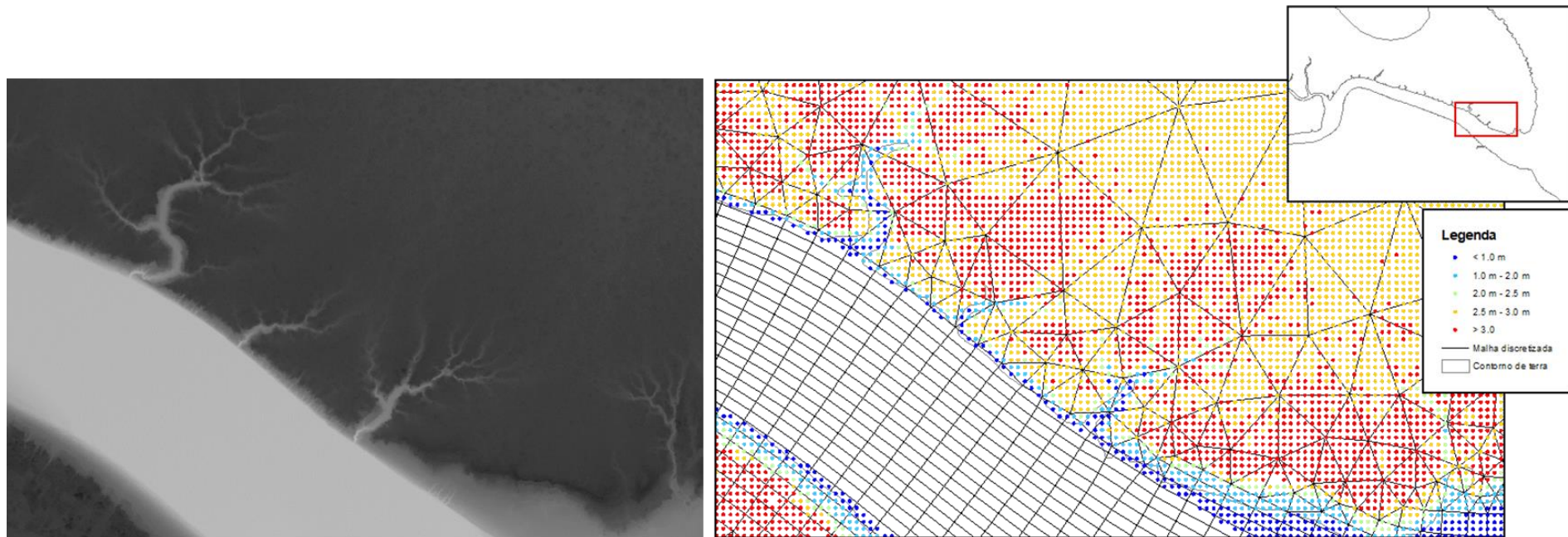


Figura 5-4: A esquerda, resultado do levantamento topográfico por LiDAR na foz do rio Sucuriju em máxima resolução, onde observa-se o detalhamento de micro canais. A direita, comparação da resolução dos dados de altimetria LIDAR já subamostrados a cada 10 metros (pontos coloridos) e a malha discretizada utilizada no desenvolvimento do modelo hidrodinâmico (polígonos).

A resolução da malha aplicada ao modelo do sistema costeiro de Sucuriju seguiu a proposta implementada para as demais áreas de estudo do PCN, os quais apresentaram bons resultados. Contudo, as peculiaridades do ambiente, a ampla área de inundação e a importância dos micros canais locais, reduziram a capacidade do modelo hidrodinâmico deste sistema em representar a hidrodinâmica em suas planícies inundáveis, comprometendo a sua utilização para a quantificação dos *proxies* determinantes das componentes da **vulnerabilidade**.

As constatações anteriormente apresentadas reforçam a necessidade de desenvolvimentos e aprimoramentos adicionais futuros, para o entendimento e melhor representação da dinâmica dos sistemas interiores de água doce e seu efeito sobre a dinâmica de todo o sistema costeiro de Sucuriju, que permitirá a modelagem mais precisa da hidrodinâmica completa desse complexo sistema costeiro.

Sugere-se, como um dos esforços futuros, o desenvolvimento de uma malha para o modelo hidrodinâmico com elementos menores que 5 m, mais próximos da alta resolução do levantamento topográfico por LiDAR (resolução de 1m), para melhorar a representação da interconexão entre o canal principal e as planícies alagáveis adjacentes; e o desenvolvimento de técnica de processamento de dados do levantamento topográfico por LiDAR para delimitar as áreas alagadas.

### 5.2.2.3. Validação dos Resultados nas Planícies Flúvio-Marinhas

O PCN realizou um significativo esforço de coleta de dados primários nos sistemas costeiros e estuarinos estudados – séries temporais de elevação do nível d'água e de corrente, salinidade, sedimentos em suspensão, levantamento batimétrico (Capítulo 4 do volume 2) e levantamento topográfico com LiDAR (Capítulo 5 do volume 2).

Para as demais áreas de estudo, este robusto conjunto de dados coletados no âmbito do PCN se mostrou suficiente para a representação da hidrodinâmica das planícies alagáveis onde se encontram as florestas de mangue, possibilitando a aplicação da metodologia proposta (capítulo 3) e a quantificação da **sensibilidade**, **resiliência** e **suscetibilidade**. Porém, devido às particularidades e limitações descritas neste capítulo, o sistema costeiro de Sucuriju ainda apresenta importantes lacunas de dados que podem contribuir para a representação da hidrodinâmica de suas extensas planícies flúvio-marinhas.

Destaca-se, nesse robusto conjunto de dados coletados, a relevância da obtenção de séries temporais de nível d'água e salinidade em pontos de coleta distribuídos nas planícies alagáveis, contemplando os períodos seco e chuvoso. Dada a complexidade da interação da pluviosidade, dos lagos, da inundação pela maré, da evaporação e percolação e da drenagem por micro canais, estes dados se tornam determinantes para a calibração e avaliação dos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico nestas áreas.

## 5.3. Considerações sobre a vulnerabilidade do sistema costeiro de Sucuriju

Ainda que este sistema apresente particularidades únicas dentre as áreas de estudo do PCN as quais inviabilizaram – neste primeiro esforço de coleta de dados, análise e modelagem – a aplicação completa da metodologia proposta para a determinação da **vulnerabilidade** das florestas de mangue (Capítulo 3), neste item são elaboradas importantes considerações sobre a **suscetibilidade** do sistema frente aos vazamentos potenciais nas bacias efetivas da MEB e, ao final, são feitas considerações sobre a **resiliência** e **sensibilidade** das florestas de mangue frente às particularidades deste sistema e ao mapeamento topográfico obtido por LiDAR.

### 5.3.1. Suscetibilidade

Neste item será analisada a **suscetibilidade** do sistema costeiro de Sucuriju ao óleo oriundo de vazamentos potenciais distribuídos nas bacias efetivas da Margem Equatorial Brasileira.

A partir do mapa da probabilidade de presença de óleo na escala *offshore* (Figura 4-1 e Figura 5-5 em maior detalhamento), observa-se que a proximidade dos limites da bacia efetiva de Foz do Amazonas com o sistema costeiro de Sucuriju, ocasionando, portanto, probabilidades altas de presença de óleo tanto no período chuvoso (40 a 70%) quanto no período seco (>80%).

A partir da análise inversa, podemos identificar as fontes de vazamento potencial consideradas que oferecem risco de presença de óleo para o sistema costeiro de Sucuriju (Figura 5-6), associadas à probabilidade (Figura 5-7 e Figura 5-8 em maior detalhamento) e tempo mínimo de toque do óleo (Figura 5-9 e Figura 5-10, em maior detalhamento). Nota-se que no período chuvoso existem mais fontes potenciais de vazamento que oferecem risco para o sistema costeiro de Sucuriju do que no período seco. Tal fato pode ser relacionado à maior variabilidade direcional de transporte ao longo do domínio de análise no período chuvoso – aumentando as áreas que representam risco, e diminuindo as probabilidades associadas. Nota-se também que as maiores probabilidades em ambos os períodos sazonais são associadas às fontes mais próximas do sistema costeiro de Sucuriju. Outro aspecto interessante é a ocorrência de fontes que oferecem risco de toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju associadas a fontes de vazamento ao norte do sistema. Esse padrão está relacionado à ocorrência de ventos do quadrante nordeste e norte no período chuvoso, assim como ao processo costeiro de transporte para leste, no qual é observada a inversão do transporte preferencial para noroeste na plataforma continental amazônica por curtos intervalos de tempo no período chuvoso (ver Volume 2, Capítulo 6).

Apesar da área com risco associado ser menor no período seco, é nesse cenário que observamos as maiores probabilidades de toque no sistema costeiro de Sucuriju. Nota-se que, no período seco, a distribuição das probabilidades associadas aos pontos de vazamento na MEB apresenta uma faixa bem estreita, de aproximadamente 40%, que vai da bacia da Foz do Amazonas até o norte da bacia de Barreirinhas, passando pela bacia Pará-Maranhão. Essa faixa estreita de altas probabilidades evidencia a alta intensidade e pouca variabilidade direcional associada aos ventos alísios de sudeste neste período. No período chuvoso, as fontes de vazamento com probabilidades maiores de 40% ocorrem apenas nas imediações do sistema costeiro de Sucuriju, na bacia Foz do Amazonas, enquanto nas bacias Pará-Maranhão, Barreirinhas, Ceará e Potiguar observam-se probabilidades abaixo de 25%.

O tempo mínimo de toque aumenta conforme aumenta a distância do sistema costeiro de Sucuriju para leste, indicando a direção preferencial do transporte de óleo na MEB como um todo. É apenas nas imediações do sistema costeiro de Sucuriju que se observam tempos de toque menores que 60 horas. No período chuvoso (seco), observam-se tempos mínimos de até 180 h (120 h), na bacia Foz do Amazonas; tempos mínimos de até 300 h (240 h), na bacia Pará-Maranhão; tempos mínimos de até 400 h (350 h), na bacia de Barreirinhas; e de até 450 h (400 h), na bacia do Ceará. Essa diferença no tempo mínimo de toque entre os cenários sazonais ao longo das bacias evidencia que o transporte durante o período seco é mais rápido.

Ainda que não tenha sido possível obter o detalhamento da hidrodinâmica nas áreas alagáveis para este sistema, a interpretação do levantamento topográfico LiDAR possibilita algumas considerações importantes sobre a **suscetibilidade** nas regiões interiores. Nota-se no Modelo Digital do Terreno (MDT) (Figura 5-11) que o sistema costeiro de Sucuriju apresenta um cinturão de maiores elevações em todo o seu entorno (3 a 5,2 m). Esta barreira natural atenua a intrusão da água do mar na medida que é necessária uma oscilação

da maré suficiente para transpô-la – condição satisfeita devido à hipermaré da região. Contudo, o levantamento LiDAR permite detectar que esse cinturão se estreita e se reduz em altura na porção leste, no cabo ao norte da foz do rio Sucuriju. Esta redução de altura e estreitamento favorece a intrusão da água do mar para o interior do sistema e, portanto, é uma região de importante consideração no planejamento de ações de contingência.

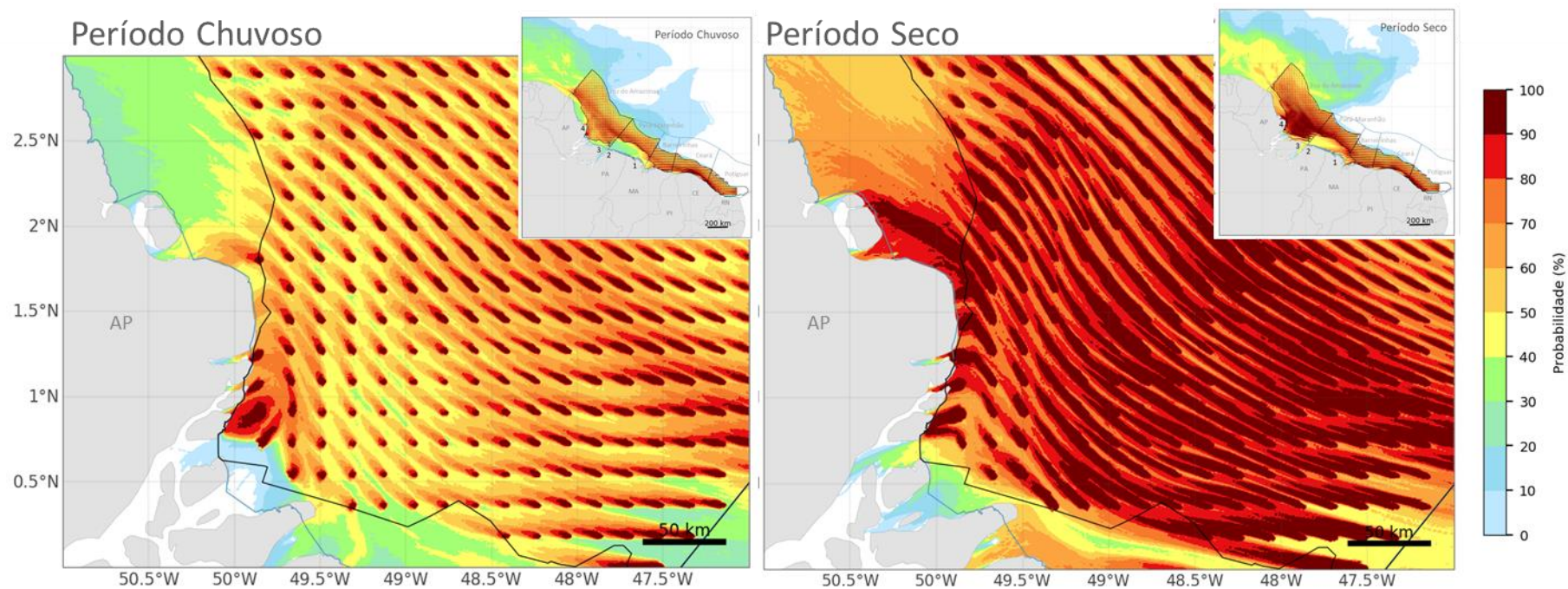


Figura 5-5: Zoom no entorno do sistema costeiro de Sucuriju da probabilidade máxima de chegada de óleo a partir dos resultados da rodada de escala *offshore* considerando 1138 fontes de vazamento distribuídas nas bacias efetivas da Margem Equatorial Brasileira. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita). O polígono em preto representa a bacia efetiva de Foz do Amazonas.

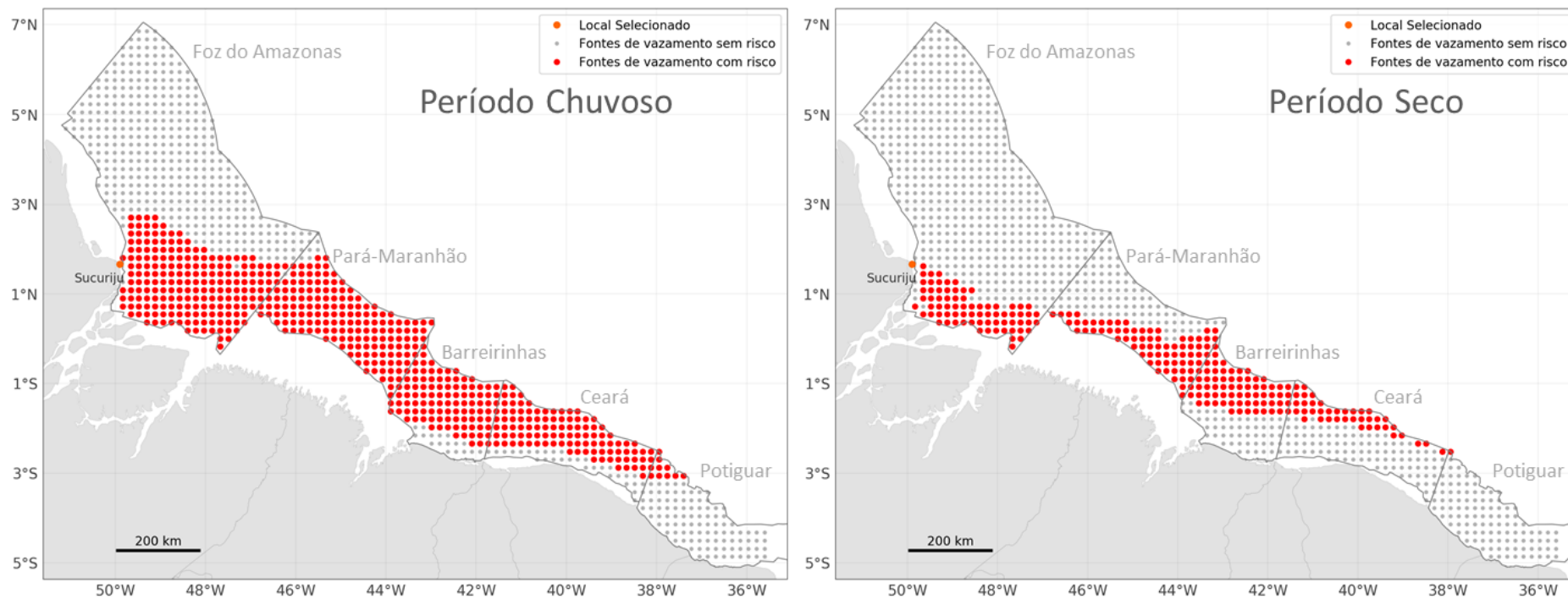


Figura 5-6: Fontes de vazamento com risco de toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriçu (AP). Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita).

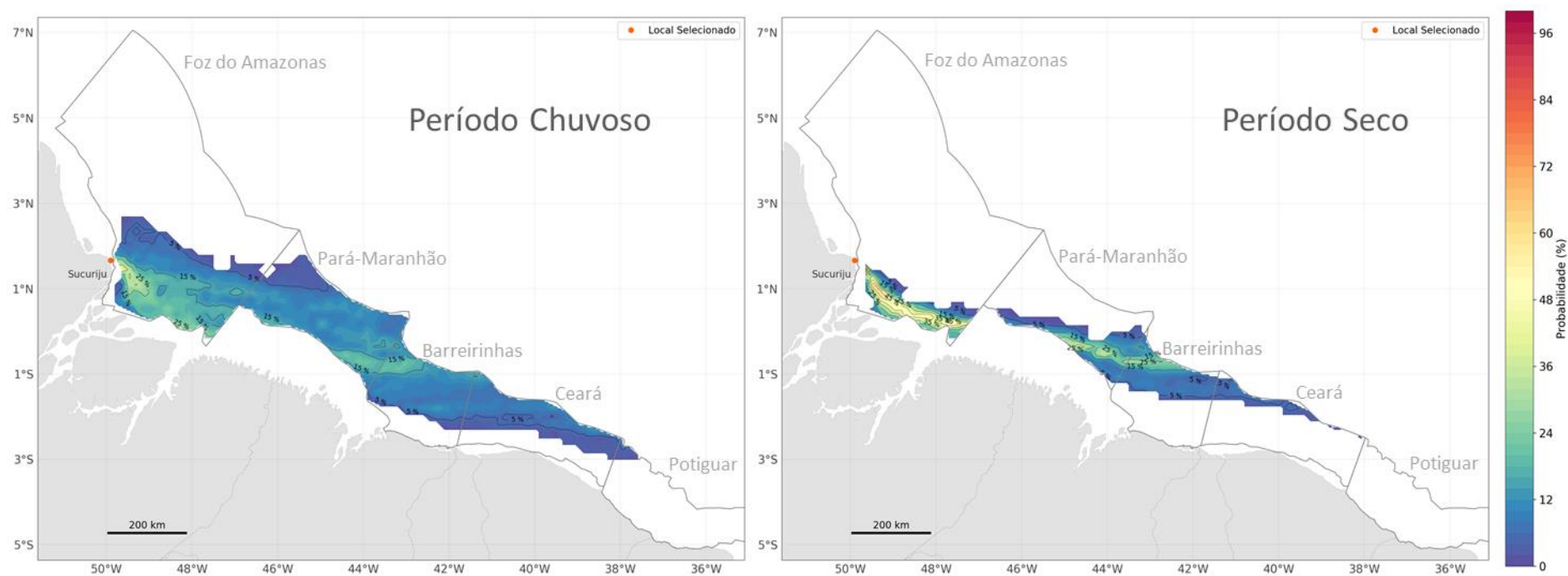


Figura 5-7: Distribuição da probabilidade de gerar toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju (AP) nas bacias efetivas da MEB. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita).



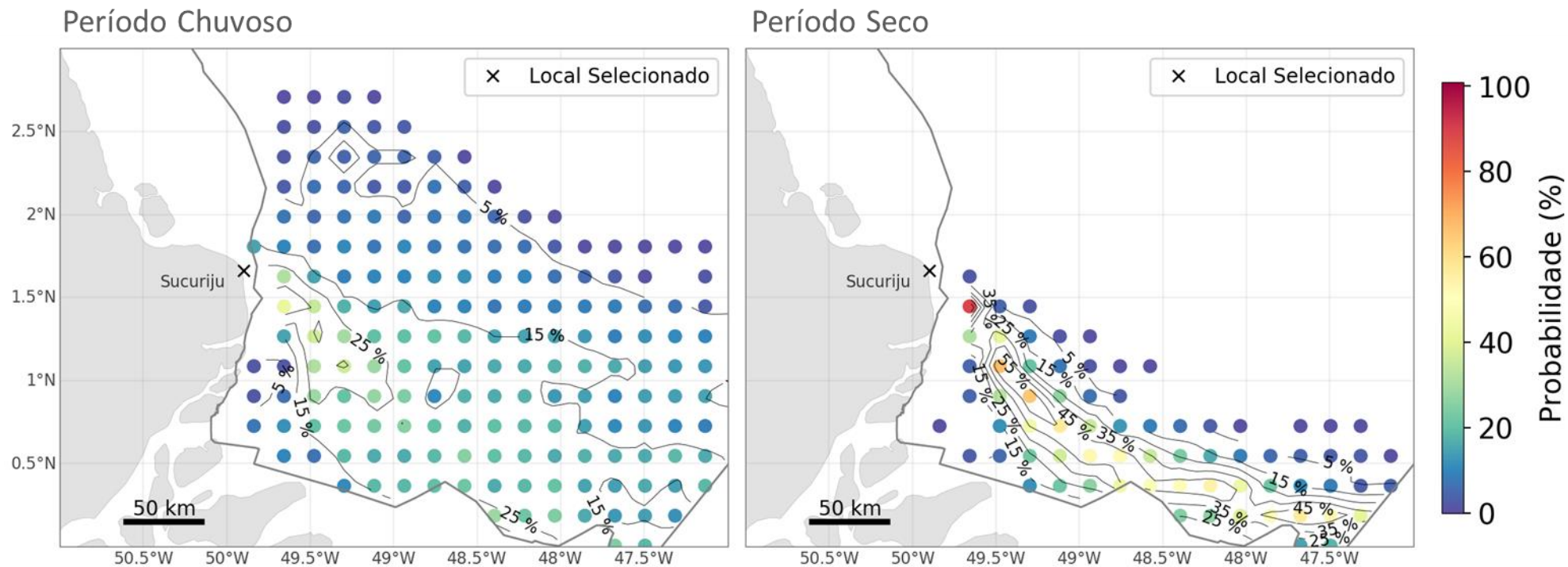


Figura 5-8: Zoom no entorno do sistema costeiro de Sucuriju da distribuição da probabilidade de gerar toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju (AP) a partir das fontes de vazamento nas bacias efetivas da MEB. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita).

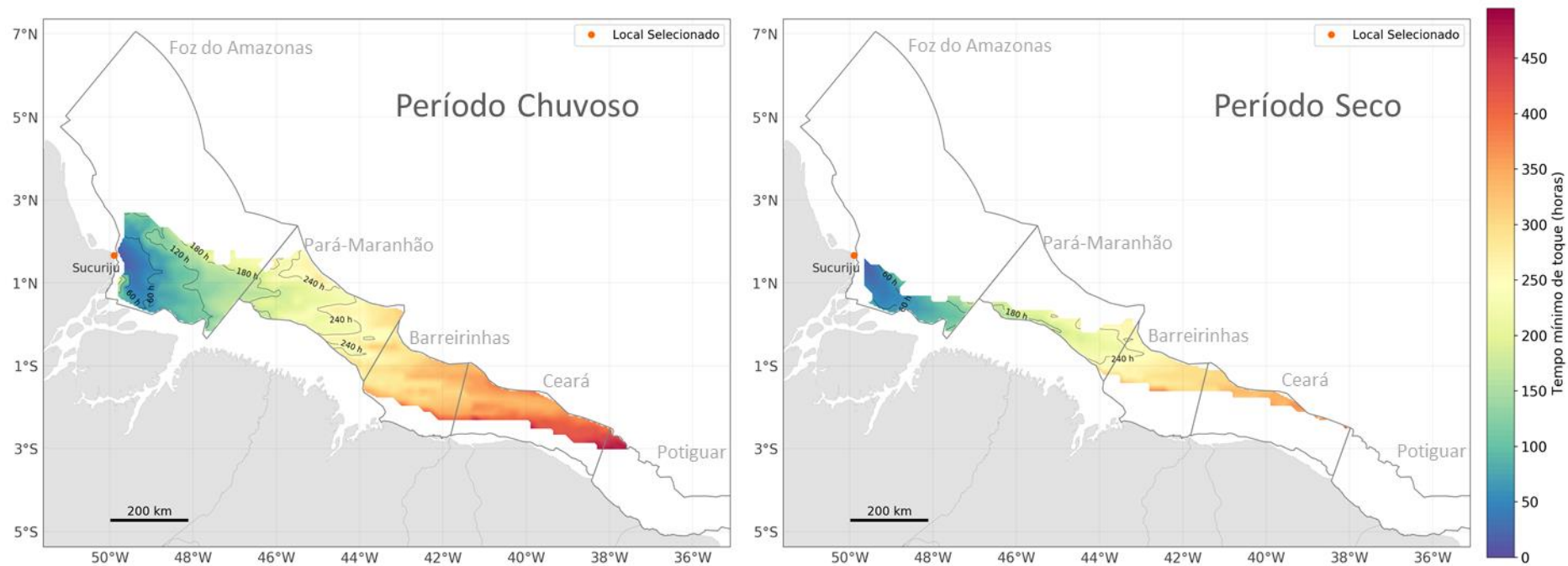


Figura 5-9: Distribuição do tempo mínimo de toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriju nas bacias efetivas da MEB. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita).

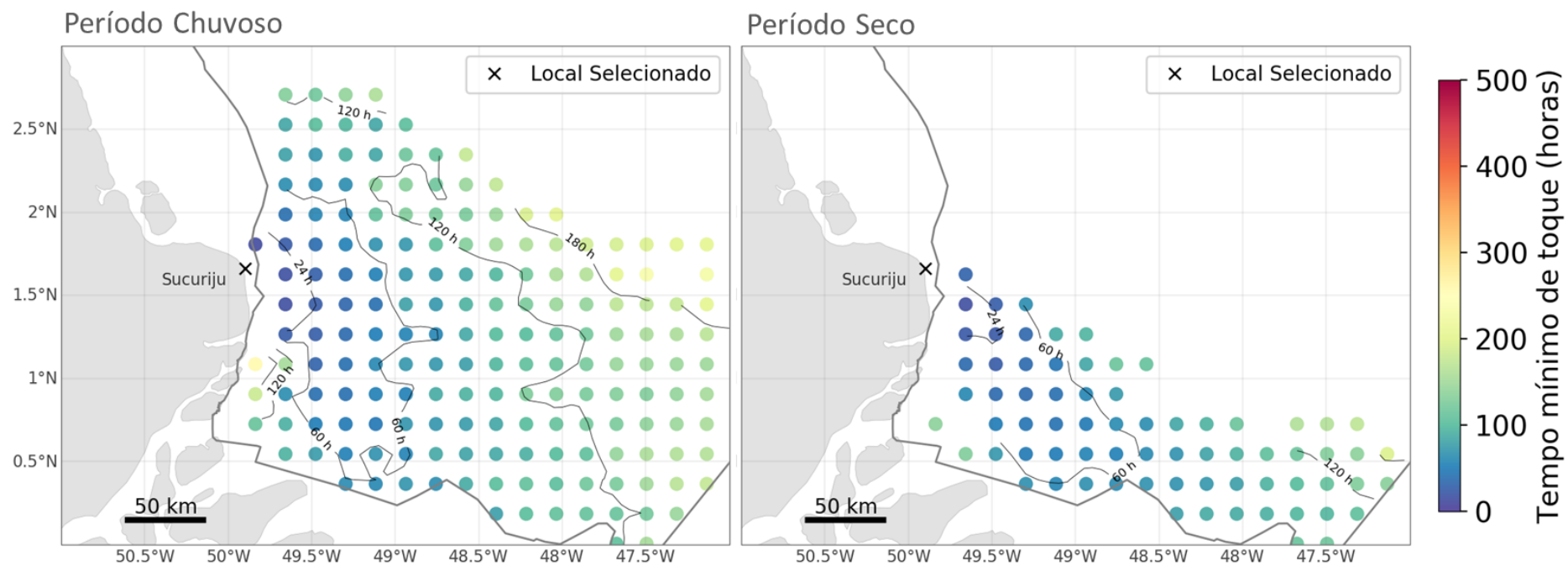


Figura 5-10: Zoom no entorno do sistema costeiro de Sucuriçu da distribuição do tempo mínimo de toque de óleo no sistema costeiro de Sucuriçu a partir de fontes de vazamento nas bacias efetivas da MEB. Período Chuvoso, janeiro a junho (à esquerda) e Período Seco, julho a dezembro (à direita).

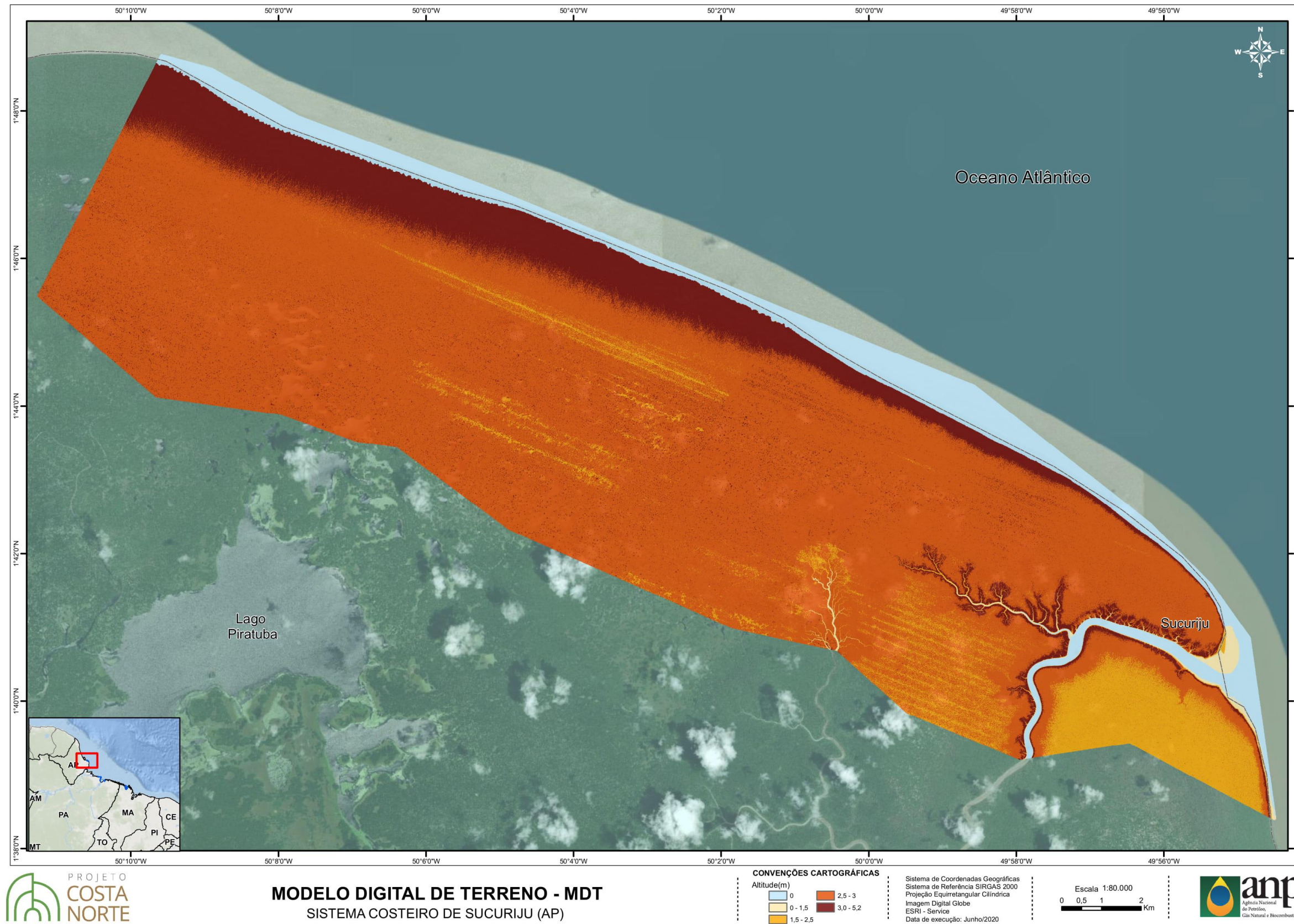


Figura 5-11: Modelo Digital de Terreno nas regiões das florestas de mangue do sistema costeiro de Sucuriçu (AP) obtido pelo levantamento topográfico por LiDAR

### 5.3.2. Sensibilidade, Resiliência e Vulnerabilidade

Conforme mencionado na apresentação das bases conceituais acerca da **vulnerabilidade** e suas componentes, especialmente no que diz respeito à **sensibilidade** e **resiliência** (Capítulo 3), a circulação de água provocada pelo movimento das marés no interior dos manguezais é um fator essencial para o desenvolvimento das árvores. A frequência de inundação estrutura o gradiente ambiental onde há florestas expostas à maior circulação de água (maior energia hidrodinâmica), com condições mais favoráveis para seu desenvolvimento, e florestas de menor circulação de água (menor energia hidrodinâmica), as quais possuem tendência a estarem submetidas a maiores níveis de *stress* natural e portanto, com maior **sensibilidade** a um tensor adicional – no caso, o óleo (para maiores detalhes ver Capítulo 3).

O MDT obtido pelo levantamento topográfico por LiDAR apresenta para área do sistema costeiro de Sucuriju uma borda topograficamente mais elevada que seu interior ao longo de todo o sistema, tanto internamente (margens do rio Sucuriju) quanto externamente (em contato direto com o oceano e a pluma do rio Amazonas) representando um cinturão onde possivelmente a frequência de inundação ocorre de maneira reduzida (Figura 5-11). No interior desse cinturão, encontram-se áreas topograficamente rebaixadas, que se apresentam permanentemente ou periodicamente inundadas por água doce. Essa configuração geomorfológica apresenta-se, portanto, de forma distinta dos demais sistemas estudados no PCN (redução da topografia para o interior).

O levantamento LiDAR também identifica a presença de muitos micro canais que, conforme descrito nos itens anteriores, são importantes regiões de interconexão entre o rio Sucuriju e as planícies alagáveis internas. Portanto, são feições que podem, em situação de maré enchente, conduzir o óleo para áreas de maior estagnação hidrodinâmica e, portanto, maior **sensibilidade** e menor **resiliência**. Logo, são feições de especial atenção para ações de contingência.

O reconhecimento das peculiaridades do sistema costeiro de Sucuriju não implica que as premissas adotadas não se apliquem a esse sistema. No entanto, a base conceitual adotada para definição dos *proxies* de **sensibilidade**, **resiliência** e, por conseguinte, para a análise integrada da **vulnerabilidade**, deve ser aprofundada para avaliação de possíveis adaptações, sobretudo no que diz respeito à porção interna do sistema onde prevalece um ambiente alagado por água doce e, portanto, submetido a níveis distintos de estresse natural ao observado nas porções interiores das florestas de mangue dos demais sistemas estudados.

### 5.3.3. Considerações Finais

Apesar das peculiaridades observadas no sistema costeiro de Sucuriju, as quais induzem a uma abordagem mais cautelosa para a análise da **vulnerabilidade** dos manguezais desse sistema à contaminação por óleo, demandando novas linhas de desenvolvimento, deve-se destacar que parte relevante dos esforços para análise da **vulnerabilidade** dos manguezais desse sistema foi alcançada pelo PCN, como por exemplo: (i) desenvolvimento de modelo hidrodinâmico regional para toda a região *offshore* e de plataforma da MEB (ii) desenvolvimento de um sistema de modelagem de dispersão de óleo probabilístico considerando múltiplas fontes de vazamento distribuídas nas bacias efetivas da MEB (iii) construção de uma grade com resolução variável para a modelagem hidrodinâmica detalhada do sistema costeiro de Sucuriju, com boa calibração no rio Sucuriju; (iv) levantamento topográfico em alta definição das florestas de mangue por LiDAR; (v) aquisição de dados de marés no sistema estuarino; (vi) levantamento fitossociológico das

florestas de mangue; (vii) definição e mapeamento em alta resolução das fitofisionomias das florestas de mangue.

Portanto, de forma inovadora, como se pretende em um projeto de P&D, o PCN não só obteve um avanço expressivo nas análises de **vulnerabilidade**, como exaustivamente explanado ao longo da apresentação dos resultados obtidos para os demais sistemas estudados, como através das peculiaridades do sistema costeiro de Sucuriju, identificou limites tecnológicos e a necessidade de se atentar para possíveis adaptações na abordagem a ser adotada, fato esperado para uma região tão vasta e diversificada como a Margem Equatorial Brasileira.