

UTILIZAÇÃO DA ESTRUTURA DPSIR PARA MONITORAR E IDENTIFICAR AS ATIVIDADES HUMANAS NA PLANÍCIE FLÚVIOMARINHA DO RIO APODI-MOSSORÓ, SEMIÁRIDO BRASILEIRO

USE OF THE DPSIR FRAMEWORK TO MONITOR AND IDENTIFY THE HUMAN ACTIVITIES IN THE FLUVIOMARINE PLAIN OF THE APODI-MOSSORÓ RIVER, BRAZILIAN SEMIARID

USO DE LA ESTRUCTURA DPSIR PARA SEGUIMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES HUMANAS EN LA LLANA FLUVIOMARINA DEL RÍO APODI-MOSSORÓ, SEMIÁRIDO BRASILEÑO

Carlos Daniel Silva e Souza

Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) Natal-RN, Brasil

E-mail: daniel.souza.cd@gmail.com

Raquel Franco de Souza

Doutora em Engenharia de Recursos Naturais, Docente permanente do Programa Regional de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal-RN, Brasil

E-mail: raquel.franco@ufrn.com.br

Diógenes Félix da Silva Costa

Doutor em Ecologia, Docente permanente do Programa Regional de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal-RN, Brasil

E-mail: diogenes.costa@ufrn.com.br

RESUMO: As planícies flúviomarinhas em situação de hipersalinidade são ecossistemas característicos das zonas tropicais, condição que é viabilizada pela elevada evaporação e escassa pluviosidade, dando origem a cristalização dos sais da água do mar na superfície do solo. Adicionalmente, enfrentam constante ocupação, mesmo em circunstâncias desfavoráveis. A presente pesquisa tem como objetivo identificar e monitorar as potencialidades para atividades econômicas da planície flúviomarina do rio Apodi-Mossoró, por meio da estrutura DPSIR (Demanda-Pressão-Estado-Impacto-Resposta), que é capaz de proporcionar uma análise das relações sistêmicas entre ações antrópicas e ambientais. Para isso, foram realizados levantamentos bibliográficos e Listagem de Controle (Checklist) em campo para identificar os principais indicadores que caracterizam a problemática. Os resultados mostraram que as demandas por alimento, energia e espaço imobiliário provocam variadas pressões no estado natural, de maneira que os impactos mais significativos são a perda da biodiversidade e alterações na composição natural do solo, causados sobretudo pela carcinicultura, salinas, atividade petrolífera onshore e crescimento populacional. Para mitigar esses danos e assegurar a sustentabilidade, as principais respostas foram a fiscalização a partir das normas ambientais e a implementação do saneamento ambiental.

Palavras-chave: Zonas úmidas; Potencial econômico; Uso e cobertura da terra.

ABSTRACT: The fluviomarine plains in a situation of hypersalinity are ecosystems characteristic of tropical zones, condition which is made possible by the high evaporation and scarce rainfall, giving rise to the crystallization of seawater salts on the soil surface. In addition, they face constant occupation even in unfavorable circumstances. This research aims to identify and monitor the potential for economic activities in the fluviomarine plain of the Apodi-Mossoró river through the DPSIR structure (Demand-Pression-State-Impact-Response), which can provide an analysis of the relationships systemic between anthropic and environmental actions. For this, bibliographic surveys, and Control Listing (Checklist) were carried out in the field to identify the main indicators that characterize the problem. The results showed that the demands for food, energy, and real estate space cause various pressures on the natural state, so that the most significant impacts are the loss of biodiversity and changes in the natural composition of the soil, caused mainly by shrimp farming, solar salt flats, onshore oil activity and population growth. To mitigate this damage and ensure sustainability, the main responses were inspection based on environmental standards and the implementation of environmental sanitation.

Keywords: Wetlands; Economic potential; Land use and land cover.

RESUMEN: Las llanuras fluviomarinas en situación de hipersalinidad son ecosistemas característicos de las zonas tropicales, condición que es posible por la alta evaporación y las escasas precipitaciones, dando lugar a la cristalización de las sales del agua de mar en la superficie del suelo. Además, se enfrentan a una ocupación constante, incluso en circunstancias desfavorables. La presente investigación tiene como objetivo identificar y monitorear el potencial de actividades económicas en la llanura fluviomarina del río Apodi-Mossoró, a través de la estructura DPSIR (Demanda-Presión-Estado-Impacto-Respuesta), que es capaz de proporcionar un análisis de las relaciones sistémicas entre las acciones antropogénicas y ambientales. Para ello se realizaron levantamientos bibliográficos y un Checklist en campo para identificar los principales indicadores que caracterizan la problemática. Los resultados mostraron que las demandas de alimentos, energía y espacio inmobiliario provocan presiones variadas sobre el estado natural, de manera que los impactos más significativos son la pérdida de biodiversidad y cambios en la composición natural del suelo, causados principalmente por el cultivo de camarón, sal minas, actividad petrolera en tierra y crecimiento demográfico. Para mitigar este daño y asegurar la sostenibilidad, las principales respuestas fueron la inspección basada en estándares ambientales y la implementación de saneamiento ambiental.

Palabras clave: Humedales; Potencial económico; Uso y cobertura del suelo.

1. INTRODUÇÃO

As planícies flúviomarinhas hipersalinas são ambientes úmidos e extremos que possuem relevante interesse ecológico e econômico, os quais, ao longo dos anos, vêm sendo exaustivamente ocupados por diversas atividades socioeconômicas. Na sua composição, apresentam ecossistemas de transição adaptados às condições peculiares e solos com altos índices de salinidade, fatores que não impedem o amplo desenvolvimento (FANG; LIU; KEARNEY, 2005; SMITH; PURNAMA; AL-BARWANI, 2007; ALBUQUERQUE et al., 2014a).

Em virtude da crescente ocupação nas áreas úmidas costeiras, inclusive no nordeste do Brasil, faz-se necessário o levantamento de maiores informações sobre o funcionamento e usos desses ecossistemas (ALBUQUERQUE et al., 2014b; HERRERO; WINDORF; CASTANEDA, 2015). Além disso, o avanço contemporâneo sobre os recursos naturais exige abordagens inovadoras e um novo modelo de exploração racional (LANDIM NETO, 2013), sobretudo, nos ambientes costeiros, que desempenham funções socioambientais significativas, tendo em vista a pluralidade de ecossistemas adaptados à interação continental e oceânica.

Inserida neste contexto, a planície flúviomarinha do Apodi-Mossoró é constituída por ambientes fitogeográficos com valor ecossistêmico e econômico para as populações locais (COSTA; ROCHA; CESTARO, 2014; GUEDES; SANTOS; CESTARO, 2016), e suas condições intrínsecas favorecem a instalação e funcionamento das salinas solares e da carcinicultura (COSTA et al., 2013), que ocupam grande extensão territorial através da construção de tanques evaporadores, cristalizadores e de camarão, gerando modificações nas condições naturais.

A utilização do DPSIR para diagnóstico em áreas úmidas tem sido aplicada em variados ambientes e países, como nas zonas costeiras da China (LIN; XUE; LU, 2007), pântanos do Irã (MALEKMOHAMMADI; JAHANISHAKIB, 2017), delta do rio Níger (ADEKOLA; MITCHELL, 2011), charcos temporários do Mediterrâneo na Grécia (ZACHARIAS et al., 2008), zonas úmidas de água doce na Etiópia (ABEBE, 2022), manguezais na Índia (KALE; JOSHI, 2014), bacia hidrográfica na Tunísia (KHEMIRI et al., 2022) e rio ao longo da costa em Bangladesh (HOSSAIN et al., 2013).

Apesar da sua ampla versatilidade, a estrutura tem sido alvo de críticas, advertindo que o mundo real apresenta mais complexidades do que é apresentado no modelo, sendo necessárias informações claras e bem definidas; além disso, as avaliações e respostas podem apresentar diferenças entre cada aplicação (GARI; NEWTON; ICELY, 2015).

No entanto, com base em diversos estudos, verifica-se que este modelo traz uma abordagem apta para descrever e monitorar as condições do meio ambiente, proporcionando resultados para a tomada de decisões no uso e ocupação do solo. A partir de sua perspectiva sistêmica, o modelo é estruturado por um conjunto de informações capazes de diagnosticar a situação de diversos ambientes (KRISTENSEN, 2004). Baseado na hipótese de que, apesar das condições peculiares, a planície apresenta intensa ocupação por atividades humanas que se beneficiam ou se adaptam às suas condições intrínsecas, esse artigo tem por objetivo usar a estrutura analítica DPSIR para identificar e realizar um diagnóstico das ocupações econômicas que se desenvolvem na planície flúviomarinha do rio Apodi-Mossoró.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A presente pesquisa tem como área de estudo a planície de inundação flúviomarinha do rio Apodi-Mossoró (Figura 1), com área territorial correspondente a 368 km² (COSTA; SOUZA; SOUZA, 2021) e caracterizada por ser fortemente ocupada por atividades que se beneficiam ou se adaptam às condições naturais específicas.

A planície apresenta condições peculiares em razão da dinâmica entre o estuário e do clima; apresenta sazonalidade bem definida com precipitações irregulares, e a evapotranspiração, variando entre 1.500 – 1.600 mm.ano⁻¹ (COSTA et al., 2014a). Esses macroatores, juntamente com a topografia plana, facilitam o fluxo e represamento das águas marinhas possibilitando a hipersalinização da área (COSTA; ROCHA; CESTARO, 2014). No período de redução das chuvas (estiagem anual), o baixo curso é ocupado pela água do mar durante as marés de sizígias que, por sua vez, se espalham pelas áreas mais rebaixadas em função do aplainamento e cota topográfica (COSTA et al., 2014b).

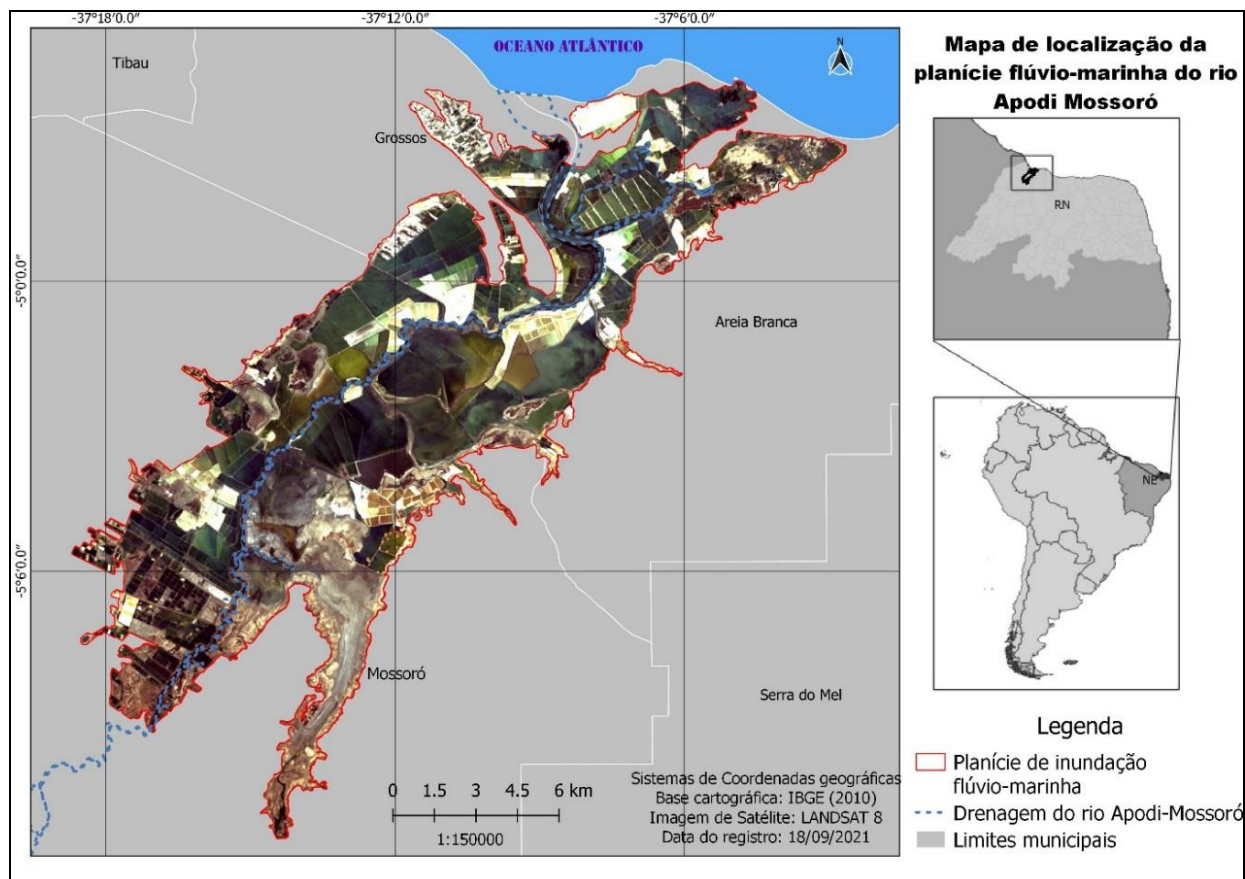


Figura 1 – Mapa de localização da planície flúviomarinha do rio Apodi-Mossoró. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os solos encontrados na planície são pouco desenvolvidos e apresentam drenagem com baixa densidade (GUEDES; SANTOS; CESTARO, 2016), das classes Gleissolo Tiomórfico e Gleissolo Sáfico (COSTA et al., 2014b), ou seja, com elevado teor de sais e não apresentando boas condições para o armazenamento hídrico em razão da baixa capacidade de retenção, favorecendo o escoamento superficial das águas pluviais. A cobertura vegetal também é vinculada às condições extremas, de maneira que são encontradas espécies halófitas e os campos salinos de salgados e apicuns constituídos como áreas ensolaradas de solo arenoso e vegetação escassa (BRASIL, 2012; COSTA; SOUZA; SOUZA, 2021).

2.2 Procedimentos metodológicos

De início, foram realizados levantamentos de referências voltadas ao nexo ocupação de zonas estuarinas, especificamente sobre atividades que são desenvolvidas em zonas costeiras e análise da relação existente entre essas atividades humanas e as características naturais destes ambientes. Para verificar a associação de causa e efeito das atividades humanas exercidas na planície do Apodi-Mossoró, foi utilizado o modelo DPSIR (Demanda-Pressão-Estado-Impacto-Resposta) (EEA, 1999).

As variáveis e indicadores utilizados no modelo DPSIR foram elencados por meio da metodologia Listagem de Controle (Checklist) realizada em campo, na qual foram catalogadas as principais demandas, pressões, condições do estado do ambiente, seus respectivos impactos, e as respostas para mitigar a degradação ambiental. As informações foram comparadas com a literatura específica da temática (GESTEIRA; PAIVA, 2003; FIGUEIRÊDO et al., 2006; MAXIM; SPANGENBERG; O'CONNOR, 2009; LANDIM NETO et al., 2013; JERONIMO; OLIVEIRA, 2014; GARI; NEWTON; ICELY, 2015; FREITAS; SIQUEIRA FILHO, 2018; SILVA; CAMACHO, 2018).

2.2.1 Elaboração cartográfica

A imagem de satélite utilizada para elaboração do mapa de uso e cobertura da terra foi obtida no catálogo INPE, oriunda do CBERS 04A., órbita/ponto 196/119, sensor WPM (câmera multiespectral e pancromática de ampla varredura) com cobertura máxima de nuvem em 10%, registrada no dia 16/07/2022. Para processamento da imagem, utilizou-se o software livre Qgis versão 3.4, sendo realizada a composição das bandas multiespectrais e fusão com a PAN para aprimorar a resolução espacial de 8m para 2m. A etapa seguinte consistiu na classificação supervisionada dos elementos que ocupam a área de estudo utilizando o complemento “dzetska: Classification tool”; após a classificação, realizou-se a transformação do raster em shapefile.

2.2.2 Estrutura DPSIR (Demanda-Pressão-Estado-Impacto-Resposta)

De acordo com a EEA (1999), a estrutura DPSIR reflete uma análise das relações sistêmicas entre ações antrópicas e ambientais. Sua origem sucedeu no final da década de 90 e, desde então, é voltada principalmente à análise de problemas ambientais em várias escalas, pretendendo contribuir com o desenvolvimento sustentável (CARR et al., 2009). Além disso, é uma abordagem que pode ser utilizada para diversos ecossistemas, terrestres e aquáticos, ou seja, adapta-se às mais diferentes condições do ambiente, e assim, torna-se fundamental para identificar e tratar problemas complexos (GARI; NEWTON; ICELY, 2015).

Basicamente, o modelo envolve cinco categorias: Demandas humanas, Pressões, Estado do meio ambiente, Impactos nos ecossistemas e Respostas (Figura 2). De acordo com sua terminologia, as demandas (D) ou forças motrizes geram pressão (P) sobre o ambiente, e conseqüentemente, produzem modificações no Estado (S) natural. Essa alteração, por sua vez,

gera impactos (I) degradantes das funções ambientais e da sociedade, requerendo assim uma resposta (R), que geralmente são os esforços institucionais voltados à mitigação dessas alterações, realimentando as etapas antecedentes (EEA, 2003).

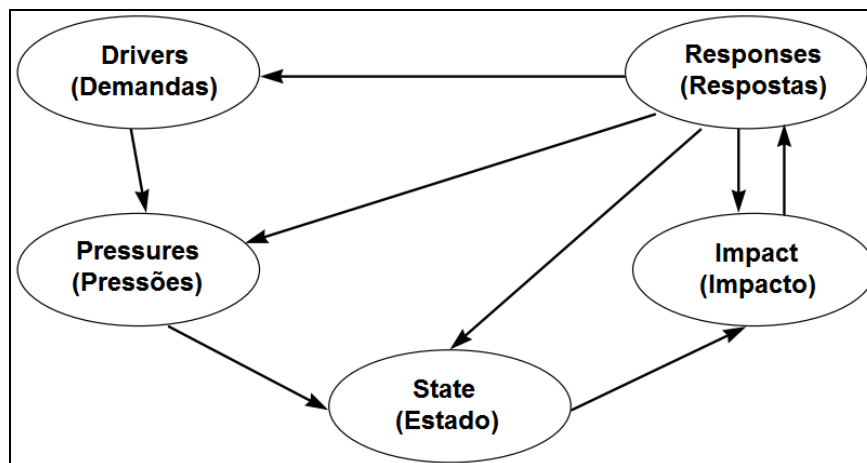


Figura 2 – Organização DPSIR. Fonte: Traduzido de EEA (1999).

2.2.3 RAWGraphs

Para compilação dos dados foi utilizada a plataforma RAWGraphs v. 2.0 - <https://app.rawgraphs.io/> (MAURI et al., 2017), um aplicativo de código livre que tem a finalidade de apresentar abordagens gráficas de um conjunto de dados. Nessa pesquisa, a ferramenta conseguiu organizar, de forma visual, as variáveis e indicadores resultantes da metodologia DPSIR; para isso, utilizou-se a representação gráfica “Diagrama Aluvial”, pela sua capacidade de demonstrar a relação entre categorias e fluxos proporcionais aos seus valores. Para facilitar a interpretação, as variáveis do Estado, Impactos e Respostas foram simplificados em códigos (Quadro 1).

Quadro 1 – Códigos e legendas dos indicadores aplicados na metodologia DPSIR e apresentados no diagrama aluvial

Demandas: Desenvolvimento social, econômico e demográfico
D1: Energética D2: Imobiliária D3: Alimentícia
Pressão: Atividades humanas resultantes das Demandas que impactam o meio ambiente
P1: Pesca P2: Pecuária P3: Agricultura P4: Onshore P5: Carcinicultura P6: Crescimento populacional / urbanização P7: Salinas solares

<p>Estado: Condição do meio ambiente, qualidade dos fenômenos físicos, químicos e biológicos</p> <p>E1: Tráfego aquático e/ou terrestre E2: Resíduos sólidos danosos E3: Ocupação em áreas protegidas E4: Descartes de efluentes E5: Percolação de água com alto teor salino E6: Desmatamento E7: Espécies exóticas em ambientes naturais E8: Sobrepesca E9: Aterramento em áreas inundadas E10: Vias tubulares para fluidos E11: Eutrofização</p>
<p>Impacto: Resultado das mudanças no Estado</p> <p>I1: Perturbação da fauna I2: Alteração na composição natural do solo I3: Assoreamento de corpos hídricos I4: Degradação de apicuns I5: Perda da biodiversidade I6: Poluição atmosférica I7: Poluição de ambientes adjacentes I8: Poluição dos corpos hídricos I9: Salinização de aquíferos</p>
<p>Resposta: Esforços institucionais para lidar com as mudanças do Estado do meio ambiente</p> <p>R1: Fiscalização a partir das normas ambientais R2: Monitoramento da qualidade da água R3: Implementação de biofiltros e bacias de sedimentação R4: Instalação em solos com elevado percentual de argila R5: Implementação do saneamento ambiental R6: Implementação de corredores ecológicos</p>

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que a ferramenta DPSIR tem se mostrado eficiente na compreensão da problemática ambiental, de maneira que vários estudos em diferentes países usam o modelo para diagnosticar os resultados da interação entre sociedade e natureza, principalmente em zonas úmidas costeiras (GARI; NEWTON; ICELY, 2015), reconhecidas pela prestação de serviços ambientais, como o abastecimento de água, habitat de vida, regulação estuarina, produção biológica e amortecimento da poluição.

Porém, na contemporaneidade, as áreas úmidas sofrem sérias pressões causadas, principalmente, pelas demandas populacionais e econômicas (LIN; XUE; LU, 2007), agindo contra a integridade ecossistêmica por meio do desmatamento, alimentação de animais e descarga de águas residuais procedentes da indústria e uso doméstico, os quais são exemplos de impactos negativos da constante exploração (MALEKMOHAMMADI; JAHANISHAKIB, 2017).

Devido a essas práticas, identificou-se que os serviços prestados por esses ambientes são fortemente ameaçados, de maneira que o bem-estar humano é afetado. O serviço de provisão é o mais crítico, seguido dos serviços de regulação na proteção de desastres naturais (ADEKOLA; MITCHELL, 2011) e controle da seca em regiões áridas e semiáridas, sobretudo no cenário atual de sérias mudanças climáticas (HOSSAIN, et al., 2013; KHEMIRI, et al., 2022).

Adekola e Mitchell (2011), ao investigarem o delta do rio Níger na Nigéria, constataram que a extração de petróleo e introdução de espécie exóticas são as ações mais degradantes das áreas úmidas daquela região, ressaltando que a falta de conhecimento sobre esses ricos ecossistemas, tanto no valor econômico como ecológico, é um problema a ser resolvido.

A mesma aplicação metodológica realizada em ambientes úmidos no Irã, identificou que as atividades humanas impactam negativamente por meio da descarga de águas residuais domésticas e industriais, uso indiscriminado da água e consumo da vegetação para alimentação animal, situação recorrente em países em desenvolvimento com falta de políticas ambientais especializadas (MALEKMOHAMMADI; JAHANISHAKIB, 2017).

Na presente pesquisa, os indicadores trabalhados na estrutura DPSIR foram organizados no diagrama aluvial (Figura 3), capaz de revelar, através de fluxos, a interação entre as atividades humanas e o estado da planície flúviomarina do rio Apodi-Mossoró, identificando fluxos que se integram com as mais variadas condições do uso e cobertura da terra. Desse modo, se tornou possível encontrar as ações mais e menos degradantes do meio ambiente.

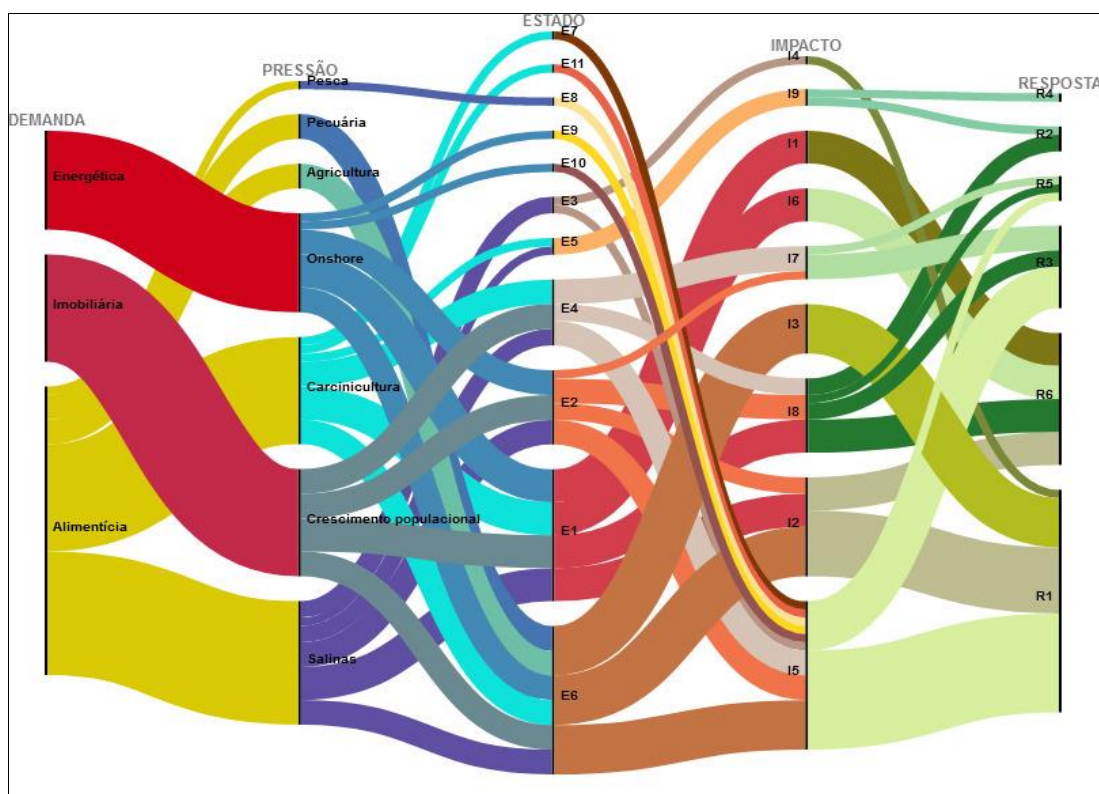


Figura 3 – Diagrama aluvial DPSIR. E1: Tráfego aquático e/ou terrestre; E2: Resíduos sólidos danosos; E3: Ocupação em áreas protegidas; E4: Descartes de efluentes; E5: Percolação de água com alto teor salino; E6: Desmatamento; E7: Espécies exóticas em ambientes naturais; E8: Sobrepesca; E9: Aterramento em áreas

inundadas; E10: Vias tubulares para fluidos; E11: Eutrofização; I1: Perturbação da fauna; I2: Alteração na composição natural do solo; I3: Assoreamento de corpos hídricos; I4: Degradação de apicuns; I5: Perda da biodiversidade; I6: Poluição atmosférica; I7: Poluição de ambientes adjacentes; I8: Poluição dos corpos hídricos; I9: Salinização de aquíferos; R1: Fiscalização a partir das normas ambientais; R2: Monitoramento da qualidade da água; R3: Implementação de biofiltros e bacias de sedimentação; R4: Instalação em solos com elevado percentual de argila; R5: Implementação do saneamento ambiental; R6: Implementação de corredores ecológicos. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Em relação aos principais usos e coberturas da planície, revelados na Figura 4, ocorre a ocupação humana por meio da atividade salineira, constituída por evaporadores e cristalizadores que ocupam grandes áreas territoriais, a carcinicultura e as áreas urbanas; além disso, existem as coberturas naturais, como os manguezais, lagoas temporárias, solo que apresenta frequente inundação, solo exposto e vegetação endêmica, ocupações que situam-se no entorno do estuário.

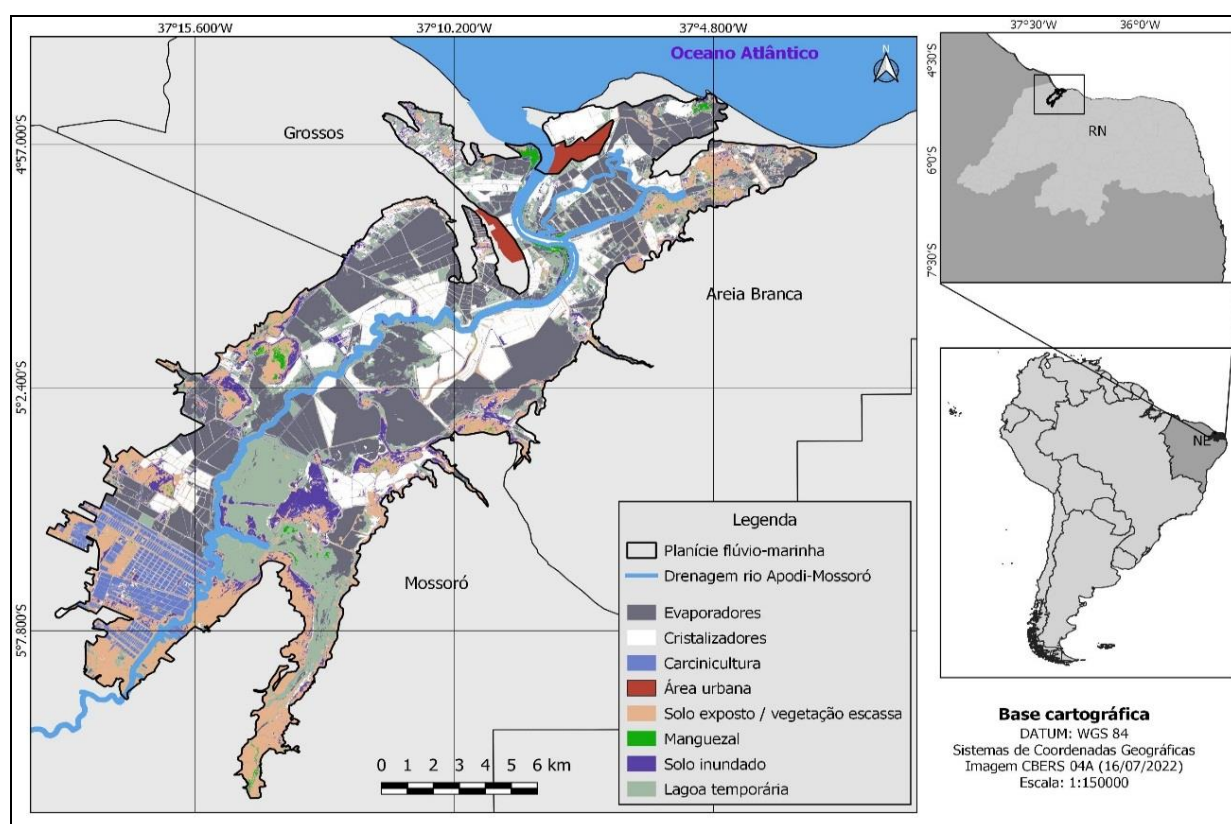


Figura 4 – Mapa de uso e cobertura da terra da planície flúviomarinha do rio Apodi-Mossoró. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Demanda (D)

As ações humanas que são desenvolvidas na planície precisam estar adaptadas às condições peculiares da região, como clima sazonal, inundações periódicas e hipersalinidade. Portanto, as principais demandas que atuam e proporcionam alterações, são aquelas voltadas à produção de alimentos específicos (D3), uma vez que se beneficiam das condições favoráveis da planície; conseqüentemente essa é a força motriz com maior potencial de danos ao meio ambiente. As demandas por energia (D1) e espaço urbano (D2) são demandas menos expressivas, mas que provocam consistentes modificações no estado natural em virtude das pressões exercidas.

Pressões (P)

Em síntese, para que as demandas sejam atendidas, naturalmente são realizadas pressões ao meio ambiente e aos recursos naturais, causando alterações no estado natural (Figura 3). Na demanda por alimentos, as pressões atuantes são a produção do sal marinho (P7), fazendas de camarões (P5), pecuária (P2) e pesca (P1).

A atividade salineira atua na região desde o período colonial, onde o sal já era utilizado para o consumo humano e animal (COSTA et al., 2013). Costa et al. (2014) ressaltam que grande parte das salinas se instalaram onde naturalmente ocorria a formação do cloreto de sódio, ou seja, nas planícies hipersalinas. Entretanto, a produção do sal local ocorre em virtude da baixa topografia, que possibilita o avanço da água do mar até 35 km do litoral, das condições climáticas de baixa precipitação pluviométrica, de temperaturas que oscilam entre 24°C a 35°C durante o ano e das elevadas evaporações (ROCHA, 2005; COSTA et al., 2021).

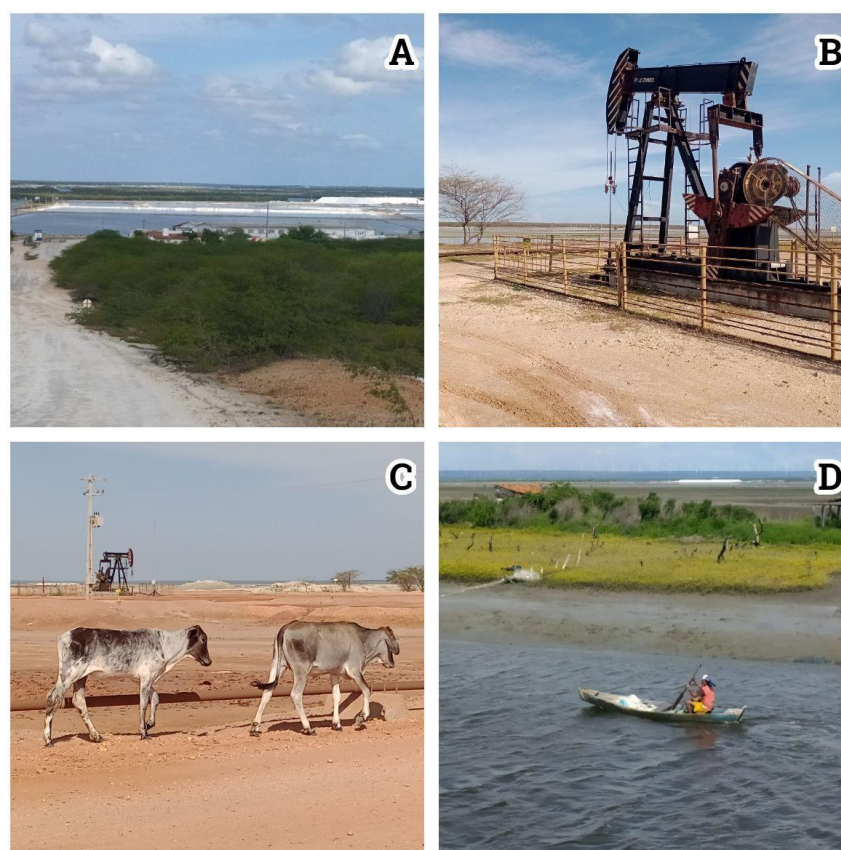


Figura 5 – Pressões resultantes das demandas existentes na planície de inundação flúviomarinha do rio Apodi-Mossoró. A: Salinas solares ocupando grandes extensões territoriais. B: Atividade petrolífera atuando com unidade de bombeio nas proximidades de corpos hídricos. C: Pecuária em campos salinos. D: Atividade pesqueira no médio curso estuarino realizada por pescadores locais. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Atualmente, as salinas solares locais produzem cerca de 95% de todo o sal consumido no país (ROCHA, 2005). A elevada produção ocorre em razão do conjunto de fatores ambientais que favorecem a sua elevada produção, especialmente a localização geográfica na zona estuarina, o clima seco e o tipo de solo (COSTA, et al., 2014).

Esses fatores também contribuem para o desenvolvimento da carcinicultura, uma vez que se instalam em estruturas abandonadas pelas salinas e em áreas próximas aos estuários e apicuns,

ambientes naturais que facilitam e melhoram a produção de camarão (GESTEIRA; PAIVA, 2003; FIGUEIRÊDO et al., 2006). Assim, a área da planície é majoritariamente ocupada pela atividade salineira e carcinicultura (COSTA et al., 2013).

Além disso, a região é caracterizada pelo elevado potencial petrolífero, que consequentemente proporciona variadas pressões ambientais através da extração onshore (PINTO FILHO; SOUZA; PETTA, 2018). A atividade petrolífera acontece devido à necessidade energética global, no município de Mossoró esse processo teve início na década de 80, proporcionando um aumento na dinâmica industrial e motivando a ascensão econômica regional (FREITAS; SIQUEIRA FILHO, 2018).

A indústria do petróleo é constituída por um conjunto de processos que envolve extração de fluidos, logística do produto, refinarias e consumo (JERÔNIMO; OLIVEIRA, 2014). Dentre essas, a etapa que atua sobre a planície (P4) é a de extração de fluidos, que compreende perfuração de poços, completação e instalações de unidades de bombeio, fatores que influenciam no aumento do fluxo de veículos.

Estado (S)

As pressões sobre o meio ambiente influenciadas pelas demandas causam modificações no Estado natural; é a condição que antecede os impactos ambientais, uma vez que, para realizar tais ações, o ambiente sofre transformações. Na área de estudo, as principais alterações do estado são o desmatamento (E6), os fluxos intensos de veículos terrestres e marinhos (E1), descartes de efluentes (E4) e resíduos sólidos (E2) (Figura 4).

O desmatamento é o Estado do ambiente mais causado pelas pressões, que ocupam as áreas próximas ao estuário, inclusive nos manguezais, avanço que influencia diretamente na densidade biológica (PEREIRA, et al., 2009) e causa modificações consideráveis na diversidade da macrofauna e na cadeia trófica bentônica (BERNARDINO, et al., 2018), proporcionando a diminuição da biodiversidade.

As mudanças no estado químico são causadas pelos poluentes industriais, resíduos urbanos e efluentes domésticos, provocando alterações na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, possibilitando a eutrofização do estuário e áreas úmidas nas proximidades dos assentamentos e áreas urbanas.

Quanto ao estado biológico, o mesmo é afetado pelas alterações na biodiversidade local, por meio de ações e impactos que causam a perturbação da fauna, introdução de espécies invasoras e degradação dos diversos ambientes naturais. O estado físico é comprometido pela intensa movimentação de veículos, criação de gado e construção de estradas, fatores que ocasionam a compactação e danos à integridade física do solo.

De maneira geral, as modificações no estado natural apresentados nessa pesquisa são equivalentes as alterações realizadas em zonas úmidas continentais, como corrobora Abebe (2022) ao apontar que a sobrepesca, invasões biológicas, eutrofização e assoreamento, são os principais tipos de modificações no estado de ambientes de água doce da Etiópia, situação que revela a alta susceptibilidade à degradação em áreas úmidas, independentemente da sua classificação.

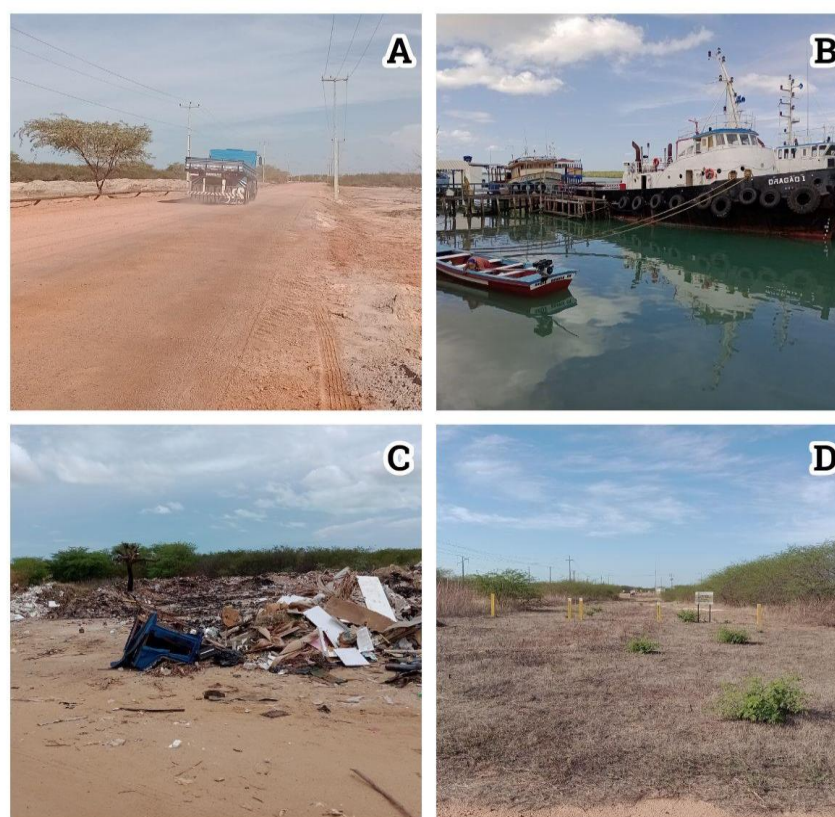


Figura 6 – Condições do meio ambiente (Estado) ocasionadas pelas pressões atuantes na planície de inundação flúviomarinha do rio Apodi-Mossoró. A: Fluxo intenso de veículos entre áreas úmidas em função das necessidades logísticas da atividade salineira. B: Intensa movimentação de embarcações no estuário. C: Acúmulo de resíduos sólidos nas proximidades da cidade de Areia Branca e povoados locais. D: Área desmatada envolta de um campo petrolífero. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Impacto (I)

As alterações do Estado natural do ambiente, proporcionadas pelo uso e cobertura da terra, causam diversos impactos nas funções ambientais. O principal impacto atuante é a perda da biodiversidade local (I5), causada sobretudo pelo desmatamento (E6), resíduos sólidos danosos (E2) e descartes de efluentes (E4). Já a alteração na composição natural do solo (I2) é afetada pelo tráfego terrestre (E1) e resíduos sólidos danosos (E2) que também contribuem para a poluição dos corpos hídricos (I8).

Impactos semelhantes também foram encontrados na região das zonas úmidas no sudeste da China, de modo que a integridade física, química e biológica, é impactada negativamente pela diminuição da biodiversidade marinha, o assoreamento de corpos hídricos, a proliferação de algas e a degradação da produção pesqueira (LIN; XUE; LU, 2007).

Em relação às atividades econômicas que geram impactos, as salinas solares atuantes na região em estudo, embora tenham iniciado de forma artesanal, agora são majoritariamente industriais, com a utilização de máquinas no processo de extração, lavagem e beneficiamento do sal marinho. No período de manutenção desses equipamentos, as indústrias salineiras produzem variados resíduos com elevado potencial poluidor.

Por sua vez, o desenvolvimento da carcinicultura é uma das alternativas para aumentar a oferta de pescados, mas que, em contrapartida, gera danos aos manguezais, aquíferos e à biodiversidade (GESTEIRA; PAIVA, 2003). Apesar dos possíveis impactos, a atividade pode ser desenvolvida de modo sustentável, desde que seja compatível com a capacidade de suporte

da área (FIGUEIRÊDO et al., 2006). A salinização de aquíferos, por exemplo, é reduzida em solos com maiores percentuais de argilas, fator que dificulta a percolação das águas salgadas até as águas subterrâneas (GESTEIRA; PAIVA, 2003).

Quanto aos principais impactos causados pela exploração petrolífera, o desmatamento indiscriminado da vegetação nativa, vazamento de fluidos, aterramento de áreas naturalmente inundáveis (Figura 5) e lançamento de dejetos no rio Apodi-Mossoró, são algumas das ações degradadoras ao meio ambiente. Assim, essa atividade caracteriza-se como a mais poluidora, em função da contínua degradação de diversos ambientes (MEDEIROS; OLIVEIRA, 2014).



Figura 7 – Principais impactos relacionados à atividade de petróleo onshore na planície de flúviomarina do rio Apodi-Mossoró. A: Aterramento de áreas úmidas para instalação de estação petrolífera. B: Poço de petróleo apresentando vazamento em contato direto com o solo e vegetação. C: Poço com unidade de bombeio desativada apresentando acúmulo de óleo em sua base. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Resposta (R)

São frequentes os problemas causados pelas ocupações humanas nas zonas costeiras, de maneira que os ambientes endêmicos são afetados pelo amplo desenvolvimento. As planícies flúviomarinhas são compostas por ecossistemas únicos e vulneráveis que necessitam de atenção dos tomadores de decisões para que sejam preservados integralmente ou parcialmente, a depender das suas condições.

A legislação brasileira, por meio do código florestal, permite a ocupação desses ambientes, desde que sejam observados seus requisitos. Os salgados e apicuns, por exemplo, só podem ter 35 % da sua área ocupada pela carcinicultura e salinas (BRASIL, 2012). As matas ciliares são áreas de preservação permanente (APP) por força de lei, que objetivam proteger e evitar o desmatamento para preservar a biodiversidade local e não podem ser ocupadas, exceto em casos específicos.

A principal resposta para diminuir o desmatamento da planície é o Projeto Margem Viva, responsável pela compensação ambiental das empresas que degradam a mata ciliar nas APP's do rio Apodi-Mossoró. Com esse projeto, cada empresa se encarrega pela recuperação de trechos através do plantio da vegetação nativa (SILVA; CAMACHO, 2018). Assim, é necessário fiscalizar a partir das normas ambientais (R1) a efetividade do projeto, para que o desmatamento das áreas mais vulneráveis seja combatido.

Nas áreas urbanas, onde os níveis de resíduos e efluentes danosos são maiores, é fundamental a implementação do saneamento ambiental (R5) como resposta a esses impactos, para que assim ocorra o tratamento adequado dos poluentes gerados pela população. Sobre o impacto da possível salinização dos aquíferos, a alternativa é a instalação da atividade de carcinicultura e salinas em solos argilosos (R4), que dificultam a infiltração da água hipersalina para as zonas mais profundas.

O processo de eutrofização pode ser mitigado por meio da instalação de biofiltros e bacias de sedimentação (R3) nos tanques de camarão e o acompanhamento da qualidade da água dos corpos hídricos circunvizinhos (R2) (GESTEIRA; PAIVA, 2003). A resposta de fiscalização a partir das normas ambientais é a mais recorrente, pois existe a legislação para evitar e mitigar os impactos ambientais, sendo necessária a fiscalização para complementar a efetividade das leis. De modo geral, as respostas institucionais para resolução de problemas tendem a provocar novas alterações, como demonstrado pela estrutura DPSIR.

4. CONCLUSÕES

A estrutura analítica DPSIR utilizada para identificar e monitorar as potencialidades econômicas da planície flúviomarinha do rio Apodi-Mossoró, foi capaz de revelar aptidões para atender as demandas por alimento, energia e espaço imobiliário, que por sua vez causam pressões por meio da carcinicultura, indústria salineira, pesca, pecuária, agricultura, atividade petrolífera onshore e crescimento populacional.

Essas atividades agem em detrimento da condição do estado natural, de forma que os impactos mais significativos são a perda da biodiversidade e alterações na composição natural do solo. As principais respostas para resolução dos problemas encontrados, foram a fiscalização a partir das normas ambientais e a implementação do saneamento ambiental, ambas com a finalidade de mitigar os danos e assegurar a sustentabilidade na região.

Portanto, apesar das condições peculiares, esta planície apresenta intensa ocupação por várias atividades humanas, que se adaptam ou se beneficiam das condições características da região, as quais influenciam na dinâmica econômica e proporcionam o avanço populacional e urbano.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ABEBE, B. Developing indicators for wetlands conservation using DPSIR framework: A review in Ethiopia. *Research Square*, v. 1 p. 1-15, 2022.
- ADEKOLA, O; MITCHELL, G. The Niger Delta wetlands: threats to ecosystem services, their importance to dependent communities and possible management measures. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, v. 7, n. 1, p. 50-68, 2011.

- ALBUQUERQUE, A. G. B. M. et al. Hypersaline tidal flats (apicum ecosystems): the weak link in the tropical wetlands chain. **Environmental Reviews**, v. 22, n. 2, p. 99-109, 2014a.
- ALBUQUERQUE, A. G. B. M. et al. Soil genesis on hypersaline tidal flats (apicum ecosystem) in a tropical semi-arid estuary (Ceará, Brazil). **Soil Research**, v. 52, n. 2, p. 140-154, 2014b.
- BERNARDINO, A. F. et al. Mangrove clearing impacts on macrofaunal assemblages and benthic food webs in a tropical estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 126, p. 228-235, 2018.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro.
- CARR, E. R. et al. Applying DPSIR to sustainable development. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 14, n. 6, p. 543-555, 2007.
- COSTA, D. F. S. et al. Breve revisão sobre a evolução histórica da atividade salineira no estado do Rio Grande do Norte (Brasil). **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 21-34, 2013.
- COSTA, D. F. S. et al. Influência de macroaspectos ambientais na produção de sal marinho no Litoral Semiárido do Brasil. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 3, 2014a.
- COSTA, D. F. S. et al. Multifactorial analysis of the geochemical characterization in a Brazilian hypersaline floodplain. **Brazilian Journal of Aquatic Science Technology**, v. 18, p. 81-90, 2014b.
- COSTA, D. F. S.; ROCHA, R. M.; CESTARO, L. A. Análise fitoecológica e zonação de manguezal em estuário hipersalino. **Mercator**, v. 13, p. 119-126, 2014.
- COSTA, D. F. S.; SOUZA, Y. G.; SOUZA, A. C. D. Fitogeografia e serviços ambientais prestados pelo manguezal do estuário do rio Apodi-Mossoró (RN). In: SOUZA, R. M.; CHAVES, A. M. S.; NASCIMENTO, S. P. G. (Eds.). **Geoecologia e Paisagem**. 1. ed. Aracaju, SE: Editora Criação, 2021.
- EEA, European Environment Agency. Environmental indicators: Typology and overview. **European Environmental**, 1999.
- EEA, European Environment Agency. Environmental indicators: Typology and Use in Reporting. **European Environmental**, 2003.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B. de et al. Impactos ambientais da carcinicultura de águas interiores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 231-240, 2006.
- FREITAS, J. C. C.; SIQUEIRA FILHO, V. Semiárido nordestino: os impactos da extração de petróleo no município de Mossoró (RN). **Revista Direito GV**, v. 14, p. 1019-1043, 2018.
- GARI, S. R.; NEWTON, A.; ICELY, J. D. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. **Ocean & Coastal Management**, v. 103, p. 63-77, 2015.
- GESTEIRA, T. C. V.; PAIVA, M. P. Impactos ambientais dos cultivos de camarões marinhos no Nordeste do Brasil. **LABOMAR Arquivos de Ciências do Mar**. 2003.
- GUEDES, D. R. C.; SANTOS, N. M.; CESTARO, L. A. Planície flúviomarinha do Rio Grande do Norte: uma abordagem geossistêmica. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, Número Especial, p. 821-831, 2016.
- HERRERO, J.; WEINDORF, D. C.; CASTANEDA, C. Two fixed ratio dilutions for soil salinity monitoring in hypersaline wetlands. **PloS one**, v. 10, n. 5, 2015.
- HOSSAIN, M. S. et al. Integrating ecosystem services and climate change responses in coastal wetlands development plans for Bangladesh. **Mitigation and Adaptation strategies for global Change**, v. 20, p. 241-261, 2015.
- JAGO-ON, K. A. B. et al. Urbanization and subsurface environmental issues: An attempt at DPSIR model

application in Asian cities. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 9, p. 3089-3104, 2009.

JERONIMO, C. E. M.; OLIVEIRA, A. A. S. Mapeamento das áreas degradadas por poços de petróleo por meio da aerofotometria na região produtora de Mossoró-RN. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 648-651, 2014.

KALE, V; JOSHI, V. Assessment of natural resources use for sustainable development: DPSIR framework for case studies in Mumbai and Chennai, India. In: LAN, T. D; OLSSON, E. G. A. ALPOKAY, S. (Eds) **Environmental stresses and resource use in coastal urban and peri-urban regions**. Sapienza Università Editrice, <https://doi.org/10.13133/978-88-98533-23-7>, 2014.

KHEMIRI, K. et al. Drivers of Long-Term Land-Use Pressure in the Merguellil Wadi, Tunisia. **Using DPSIR Approach and Remote Sensing**. Land, v. 11, n. 1, p. 138, 2022.

KRISTENSEN, P. **The DPSIR framework**. Denmark: National Environmental Research Institute, 2004.

LANDIM NETO, F. O. et al. Application of the DPSIR model for the diagnosis of an estuary of the Brazilian Northeast: a tool for local and regional management. **Journal of Coastal Research**, n. 65 (10065), p. 986-990, 2013.

LIN, T; XUE, X. Z; LU, C. Y. Analysis of coastal wetland changes using the “DPSIR” model: a case study in Xiamen, China. **Coastal Management**, v. 35, n. 2-3, p. 289-303, 2007.

MALEKMOHAMMADI, B.; JAHANISHAKIB, F. Vulnerability assessment of wetland landscape ecosystem services using driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) model. **Ecological Indicators**, v. 82, p. 293-303, 2017.

MAURI, M. et al. RAWGraphs: a visualisation platform to create open outputs. In: **Proceedings of the 12th biannual conference on Italian SIGCHI chapter**. p. 1-5, 2017.

MAXIM, L.; SPANGENBERG, J. H.; O'CONNOR, M. An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. **Ecological Economics**, v. 69, n. 1, p. 12-23, 2009.

PEREIRA, F. V. et al. Estrutura da vegetação em duas áreas com diferentes históricos de antropização no manguezal de Anchieta, ES. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 22, n. 1, 2009.

PINTO FILHO, J. L. O; SOUZA, R. F; PETTA, R. A. Identificação dos Impactos Ambientais do Campo Petrolífero Canto do Amaro/RN com Sistema Pressão-Estado-Impacto-Resposta. **Revista Geotemas**, v. 8, n. 1, p. 02-22, 2018.

SILVA, R. F; CAMACHO, R. G. V. A recuperação da mata ciliar do rio Apodi-Mossoró através do projeto margem viva: estudo de caso. **Sustentare**, v. 2, n. 3, p. 132-140, 2018.

ZACHARIAS, I. et al. A “DPSIR” model for Mediterranean temporary ponds: European, national and local scale comparisons. In: **Annales de Limnologie-International Journal of Limnology**. EDP Sciences, p. 253-266, 2008.