

Avaliação Multicritério para a Viabilidade de Parques Eólicos *Onshore* na Zona Costeira de Sergipe – Brasil

Multicriteria Assessment for the Viability of Onshore Wind Farms in the Coastal Zone of Sergipe – Brazil

Paulo Henrique Neves Santosⁱ
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Brasil

Rosemeri Melo e Souzaⁱⁱ
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Brasil

Manoel do Couto Fernandesⁱⁱⁱ
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Neise Mare de Souza Alves^{iv}
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Brasil

Resumo: A produção de energia através dos ventos se destaca como uma das principais alternativas para o enfrentamento do aquecimento global. O presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da implantação de parques eólicos *onshore* na paisagem do litoral do estado de Sergipe por meio da análise geoecológica, classificando aspectos naturais e antrópicos entre forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, por meio da matriz SWOT. Elaborando um mapeamento geomorfológico do recorte de 5 km da atual linha de costa, verificou-se que o domínio geomorfológico da Planície Costeira é composto por morfologias geologicamente recentes e instáveis. Essa característica é uma das principais fraquezas da paisagem para a implantação de parques eólicos *onshore* no litoral de Sergipe. Por outro lado, os Tabuleiros Costeiros situados dentro do recorte espacial adotado, é o domínio geomorfológico mais adequado para a implantação de parques eólicos, por ser geologicamente mais antigo e mais estável.

ⁱ Mestre em Geografia. neves.santos.zero@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3115-469X>

ⁱⁱ Professora do Departamento de Engenharia Ambiental. rome@academico.ufs.br.
<https://orcid.org/0000-0002-5916-3598>

ⁱⁱⁱ Professor Titular do Departamento de Geografia. manoel.fernandes@igeo.ufrj.br.
<https://orcid.org/0000-0002-4500-0624>

^{iv} Professora do Departamento de Geografia. neisemare@gmail.com.
<https://orcid.org/0000-0001-6545-487X>

Palavras-chave: Análise Geoecológica; Litoral Sergipano; SWOT; Cartografia Geomorfológica.

Abstract: Energy production through wind stands out as one of the main alternatives for combating global warming. The present study aims to evaluate the feasibility of implementing onshore wind farms in the coastal landscape of the state of Sergipe through geoecological analysis, classifying natural and anthropogenic aspects into strengths, weaknesses, opportunities, and threats, using the SWOT matrix. Preparing a geomorphological mapping of the 5 km section of the current coastline, it was verified that the geomorphological domain of the Coastal Plain is composed of geologically recent and unstable morphologies. This characteristic is one of the main weaknesses of the landscape for the implementation of onshore wind farms on the coast of Sergipe. On the other hand, the Coastal Tablelands located within the adopted spatial outline are the most suitable geomorphological domain for the implementation of wind farms, as they are geologically older and more stable.

Keywords: Geoecological Functions; Coastal of Sergipe; SWOT; Geomorphological Cartography.

Introdução

Ao longo do seu processo histórico-evolutivo, a humanidade sempre buscou, no meio ambiente, as condições necessárias para o seu desenvolvimento, promovendo diversas formas de transformações nas paisagens que tivessem os recursos que satisfizesse suas necessidades (LEITE, SOUZA, 2015).

Os recentes desenvolvimentos tecnológicos incitam a humanidade a cogitar novas possibilidades de exploração dos recursos naturais, buscando atender as antigas agendas da bandeira do desenvolvimento sustentável, estabelecendo novos meios de desenvolver a sociedade provocando menos impactos socioambientais.

A energia elétrica se tornou um dos pilares centrais para a dinâmica da sociedade contemporânea uma vez que, “com o crescimento populacional e a formação das primeiras grandes cidades, o consumo energético passou a crescer de forma exponencial” (SOUSA, 2017, p.182), especialmente a partir da primeira Revolução Industrial, quando “a energia se transformou num fator primordial para garantir o crescimento e, consequentemente, o desenvolvimento socioeconômico” (NETO, LIMA, 2016, p. 130).

Fundamentada em um modelo de vida cada vez mais tecnológico e informatizado, a sociedade contemporânea vem criando demandas energéticas em níveis nunca vistos pela humanidade, tornando “crítica a questão da obtenção e oferta de recursos energéticos” (UDAETA, 2012, p. 5), em um contexto mundial de saturação das principais matrizes energéticas utilizadas atualmente e da busca por meios de reduzir a produção de gases intensificadores do Efeito Estufa.

Nesse cenário, a produção de energia através dos ventos, comumente chamada de energia eólica, destaca-se como uma das alternativas mais interessantes para a humanidade no segmento de energia elétrica, sendo a matriz que mais cresce em âmbito mun-

dial (HACES-FERNANDEZ *et al.*, 2022), em função da baixa magnitude dos impactos socioambientais ao mesmo tempo que não produz gases intensificadores do Efeito Estufa. Nos últimos anos, foram realizados muitos progressos para o aumento da produção de energia eólica, especialmente a massiva redução dos custos a partir de tecnologias emergentes e o crescimento de políticas de incentivo (MIAO *et al.*, 2021. Tradução própria), minimizando um dos principais entraves para esse segmento energético, os elevados valores de investimento inicial.

A zona costeira é uma paisagem naturalmente favorecida para a produção de energia eólica pela elevada intensidade dos ventos que incidem sobre o litoral, característica que justifica o elevado adensamento de parques eólicos na zona costeira, especialmente na região Nordeste do país.

A zona costeira equatorial, classificada por Fernandez *et al.* (2019) como costa Caraíba, no trecho entre os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte é uma das regiões com a maior produção de energia eólica do Brasil, com a maior densidade de parques eólicos *onshore*, contribuindo para a participação do Nordeste na produção energética com cerca de 75% da capacidade nacional instalada (SOUSA, 2017).

No estado de Sergipe, a produção de energia eólica é um segmento pouco explorado até então em razão da menor intensidade dos ventos quando se comparado à zona costeira equatorial do Brasil nos trechos dos estados do Nordeste. Desde meados de 2009, estão sendo desenvolvidos estudos ao longo do estado para a produção do Mapa Eólico de Sergipe, com a distribuição de, ao menos, 4 torres de medição distribuídas no território estadual (SOBRAL, 2021).

Por outro lado, como o Plano Nacional de Energias – 2050 – ressalta, o potencial de geração de energia eólica no estado de Sergipe e, considerando o aprimoramento das análises do potencial eólico, o maior conhecimento dos atores e a elevação da competitividade como fatores essenciais para a queda dos preços da energia eólica no Brasil (MELO, 2013; BRASIL, 2023), é fundamental avaliar previamente a viabilidade de implantação de parques eólicos *onshore* na paisagem da zona costeira sergipana, sobretudo diante dos impactos ambientais e antrópicos na zona costeira de outros estados do Nordeste (LOUREIRO *et al.*, 2015). Essa perspectiva busca fornecer um prognóstico fundamentado nas potencialidades e fragilidades socioambientais da zona costeira sergipana.

Diante da possibilidade de implantação de parques eólicos no território sergipano, levando em consideração as fragilidades morfológicas da Planície Costeira do estado e evidências de impactos socioambientais, o presente estudo tem como objetivo avaliar critérios relacionados a produção de energia eólica *onshore* a partir dos cenários internos e externos por meio da matriz SWOT, no intuito de fornecer uma avaliação geocológica onde são consideradas as potencialidades e fragilidades da paisagem da zona costeira sergipana.

Materiais e Métodos

As análises geocológicas, assim como qualquer análise de cunho ambiental, assumem uma grande complexidade, necessitando de abordagens específicas e unidades de análises que contemplem a exequibilidade destas análises (FERNANDES, 2009). Partindo

desta premissa, este estudo não se limitou a analisar somente aspectos relacionados a velocidade e direção dos ventos, mesmo se tratando do condicionante ambiental principal para a geração de energia eólica. Ao invés disso, entende-se a implantação de parques eólicos *onshore* como uma atividade com elevado potencial de alteração da paisagem e de desencadear impactos socioambientais, especialmente quando situados em ambientes naturalmente frágeis e socioterritorialmente complexos como a zona costeira.

Em razão disso, foi estabelecida uma abordagem baseada em uma matriz avaliativa estruturada em modelo SWOT, classificando parâmetros internos e externos à paisagem do litoral sergipano, definida como unidade de análise. A determinação dos parâmetros foi fundamentada no Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2007), que apresenta os principais parâmetros que são avaliados para a implantação de parques eólicos *onshore* como: velocidade e direção dos ventos, relevo, rugosidade do terreno, obstáculos naturais e artificiais, tipo de vegetação e usos do solo.

Os parâmetros relacionados às características geomorfológicas foram baseados nos apontamentos de Loureiro *et al.* (2015) e Meireles (2019), que discutem sobre uma maior aptidão do domínio dos Tabuleiros Costeiros para a implantação de parques eólicos *onshore*, quando se comparado à Planície Costeira. Esse apontamento é justificado pela maior estabilidade geológico-geomorfológica dos Tabuleiros, sendo “evidenciados como morfologias capazes de proporcionar áreas para a geração de energia elétrica” (MEIRELES, 2019, p.84).

Considerando aspectos geomorfológicos como forma, estrutura e função, cada domínio geomorfológico delimitado foi avaliado sob o olhar da implantação de parques eólicos *onshore*, onde os domínios geologicamente mais recentes, de caráter deposicional e que desempenham funções geoecológicas fundamentais para a proteção costeira ou para a recarga dos aquíferos, foram considerados como inapropriados, portanto, classificados como fraqueza.

Em diálogo com profissionais do ramo de produção de energia eólica, foram destacadas preocupações quanto aos efeitos da maritimidade sobre os aerogeradores e demais equipamentos. Atuando sobre materiais de ferro, a maritimidade reduz a vida útil dos equipamentos em razão do processo de oxidação, demandando maior atenção com a manutenção e monitoramento quando se comparado a áreas mais interioranas, elevando assim os custos operacionais. A seleção desse parâmetro leva em consideração a perspectiva de proposição de um modelo de avaliação para a implantação de parques eólicos *onshore*, não se restringindo à Planície Costeira, mas podendo ser aplicado em áreas onde a continentalidade é predominante.

Os parâmetros naturais avaliados para a implantação de parques eólicos *onshore* foram estabelecidos a partir das considerações do Plano Nacional de Energias (BRASIL, 2007), Mikkan (1992), Ruiz e Serrano (2008) e Silva (2019), que destacam aspectos topográficos como um dos principais condicionantes naturais além da velocidade dos ventos.

Os parâmetros antrópicos foram estabelecidos mediante revisão bibliográfica, sendo identificados que os impactos sociais mais recorrentes apontados pelos pesquisadores se referem ao desencadeamento de conflitos socioterritoriais contra grupos economicamente fragilizados (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019; NUNES *et al.*, 2019; SANTOS, 2014; PAIVA, LIMA, 2017; ESPÉCIE *et al.*, 2018; COSTA, VARGAS, 2013, PAULINO *et al.*,

2023). Em função disso, foi estruturada uma matriz avaliativa considerando a realidade do litoral sergipano (Quadro 1).

Quadro 1: Matriz avaliativa.

Condicionantes			
Relevo	Geomorfologia	Formas	Parâmetros naturais
		Processos	
		Amplitude altimétrica	
		Declividade	
		Continentalidade/maritimidade	
		Estabilidade/Instabilidade	
		Obstáculos naturais	
	Solo	Classe	
		Propriedades	
Clima	Ventos	Velocidade/Frequência	
		Sentido	
	Precipitação	Período chuvoso (m)	
Bioma	Vegetação	Altura	
		Densidade	
		Dominância	
Antrópicos	Infraestruturas	Acessibilidade rodoviária	Parâmetros antrópicos
		Presença ou proximidade de subestação energética	
	Usos do solo	Obstáculos artificiais	
		Unidades de Conservação	
		Áreas de interesse sociocultural	
		Atividades socioeconômicas	

Fonte: Adaptado de Brasil (2007), Mikkan (1992), Ruiz e Serrano (2008).

Para a avaliação desses parâmetros, foram adaptados os procedimentos avaliativos apresentados por Damasceno e Abreu (2018), que utilizaram a matriz SWOT (TACHI-ZAWA, FREITAS, 2004) para fundamentar a discussão sobre o cenário da produção de energia eólica no Brasil. Nesse sentido, os parâmetros naturais, considerados como propriedades naturais da paisagem, que condicionam as atividades humanas, foram considerados como parâmetros internos. Já os parâmetros externos, foram considerados aspectos alheios às propriedades naturais da paisagem, compreendidas como as intervenções antrópicas sobre o ambiente natural.

A classificação da Planície Costeira como fraqueza para a implantação de parques eólicos *onshore* no litoral de Sergipe leva em consideração os apontamentos de Meireles (2019), que evidencia os processos de descaracterização e fragmentação de morfologias da Planície Costeira em razão da implantação de parques eólicos *onshore* no litoral do Ceará, comprometendo não somente a dinâmica socioterritorial, como também a dinâmica morfológica.

Outro ponto considerado para enquadrar a Planície Costeira como fraqueza refere-se à atual composição morfoescultural da Planície de Sergipe, composta por morfologias dunares, depósitos eólicos, cordões e intercordões litorâneos e planícies fluviomarinhas, tipos de morfologias que desempenham funções geocológicas fundamentais para a dinâmica costeira.

Uma das atividades mais expressivas sobre a Planície Costeira norte e sul de Sergipe é o turismo, que condiciona e movimenta a dinâmica socioeconômica local e regional. Embora o entendimento de beleza seja reflexo do ponto de vista subjetivo do indivíduo, a implantação de parques eólicos *onshore* gera preocupações para a comunidade local pois podem comprometer a paisagem natural (PAULINO *et al.*, 2023), pilar do turismo regional, uma vez que “a alteração paisagística causada pela presença dos aerogeradores pode causar uma desvalorização monetária na região” (PINTO *et al.*, 2017, p.1091). Diante do potencial de comprometer a dinâmica turística sobre a Planície Costeira sergipana, o turismo é considerado como ameaça no aspecto atividades econômicas.

Outras atividades comumente desenvolvidas sobre a Planície Costeira sergipana são atividades tradicionais, como a coleta da mangaba/mariscos e a carcinicultura às margens da rede hidrográfica. A magnitude dos impactos sobre uma economia a partir da implantação de parques eólicos *onshore* tem potencial para desencadear conflitos econômicos por comprometer o desenvolvimento dessas atividades, pois podem prejudicar a qualidade ambiental, provocar alterações na superfície da terra e a reduzir a biodiversidade (PAULINO *et al.*, 2023).

Outra problemática de caráter fundiário que geralmente é relatada pelas comunidades no entorno diz respeito a restrições de acessos da população local a espaços antes tidos como públicos através do bloqueio das vias (PAULINO *et al.*, 2023; ARAÚJO *et al.*, 2020; BRANNSTROM *et al.*, 2017). Diante dessas evidências, atividades como turismo, atividades de subsistência, tradicionais e a carcinicultura foram consideradas como ameaças para a implantação de parques eólicos *onshore*.

Por outro lado, grupos socioeconômicos associados a atividades agropecuárias geralmente veem os parques eólicos *onshore* como uma atividade para complementar a renda da família, argumentando que é possível conciliar atividades rurais com os aerogeradores, pois os equipamentos “ocupam uma parcela do terreno, sendo que o restante da propriedade arrendada pode ser utilizado pelos moradores no desenvolvimento das atividades agropecuárias” (CAMPELO *et al.*, 2020, p.148).

Atividades agropecuárias são uma das atividades comumente desenvolvidas sobre os Tabuleiros Costeiros dentro da área de estudo adotada, validada através de visita técnica. Considerando os apontamentos de Campelo *et al.* (2020), atividades agropecuárias não foram consideradas como ameaça para a implantação de parques eólicos *onshore*

no litoral norte e sul de Sergipe por ter menor potencial de desencadear conflitos socio-territoriais com as comunidades residentes.

Para a produção do anemograma foram utilizadas as planilhas de Excel do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), adotando um período de 5 anos, entre 2015 a 2020, das estações meteorológicas situadas na zona costeira de Sergipe, como a estação de Aracaju, código (WMO) A409, latitude -10,95 e longitude -37,05, e a estação de Brejo Grande, código (WMO) A421, latitude -10,47 e longitude -36,48.

Utilizando o software WRPLOT *View*, foram adotadas as colunas referentes às seguintes variáveis: 1) Vento, direção horária (gr) e 2) Vento, velocidade horária (m/s).

A proposição da viabilidade ou não da implantação de parques eólicos *onshore* no litoral sergipano consiste em uma análise geocológica das potencialidades e fragilidades morfológicas dessa paisagem, considerando sua composição morfoescultural e suas respectivas morfologias, avaliadas através de trabalho de campo por meio da classificação geomorfológica de Dantas e Shinzato (2017), que estabelecem 7 domínios geomorfológicos para o estado de Sergipe: 1) Planície Costeira; 2) Planície Deltaica do rio São Francisco; 3) Tabuleiros Costeiros; 4) Superfícies Colinosas da Bacia de Sergipe; 5) Domo de Itabaiana; 6) Depressão Sertaneja e; 7) Planalto de Palmares.

O mapeamento geomorfológico foi realizado a partir da integração de três procedimentos metodológicos: 1) análise de imagens do satélite CBERS 4A da área de estudo, do ano de 2022, para verificação das feições e dos contatos geomorfológicos; 2) análise do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto Alos Palsar, que corresponde a uma interpolação para 12,5 m de resolução espacial do MDE do projeto SRTM; 3) validação das informações obtidas por geoprocessamento através de trabalho de campo em toda a extensão da área de estudo.

Diante do caráter exploratório e introdutório do presente estudo, é importante destacar que o MDE adotado apresenta limitações quanto à precisão vertical. Nesse sentido, é fundamental que sejam realizados mapeamentos topográficos mais precisos adotando escalas maiores para melhor representação da escala vertical à medida que for se tornando necessário, especialmente nos trechos dos Tabuleiros Costeiros. Em razão da natureza do presente estudo, o MDE do Alos Palsar se mostrou satisfatório por possibilitar um panorama geral da área de estudo, especialmente por se tratar de um domínio geomorfológico relativamente plano como a Planície Costeira.

Considerando a baixa intensidade dos ventos sobre o litoral sergipano, a área de estudo se restringiu a um recorte de 5 km de distância da linha de costa, abrangendo quase integralmente a Planície Costeira e fragmentos dos Tabuleiros Costeiros, especialmente no município de Pirambu (Figura 1), onde para cada uma destas unidades morfológicas foram avaliados os parâmetros internos e externos da proposição da matriz de SWOT.

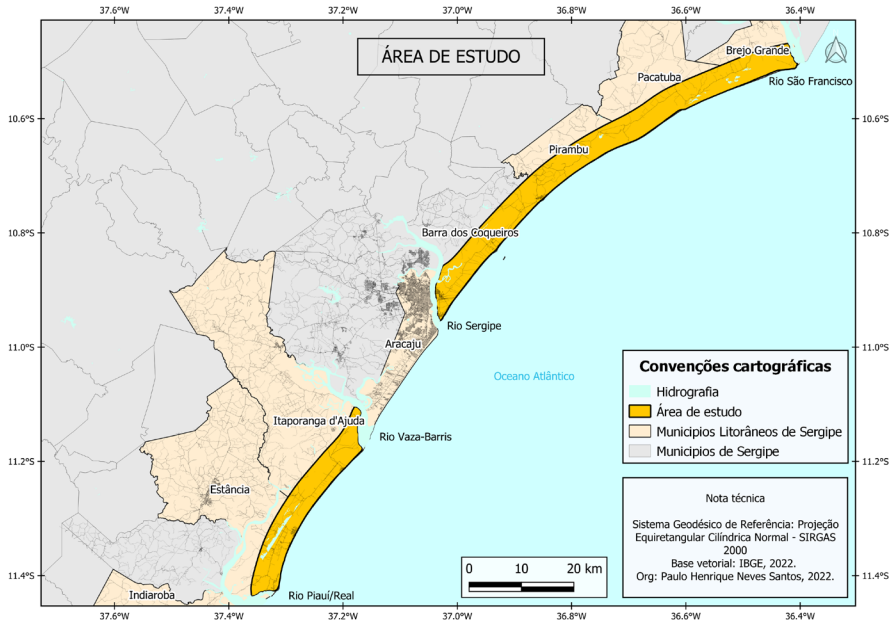


Figura 1 – Área de estudo.

Resultados e Discussões

Embora seja uma das regiões que mais se destaque nacionalmente para a produção de energia eólica, a velocidade dos ventos na região Nordeste do Brasil não é homogênea ao longo da costa, havendo trechos com maior intensidade, como a costa Norte do país, e trechos com menor intensidade dos ventos, como a costa Leste da região Nordeste do Brasil.

A costa leste do Brasil classificada por Fernandez *et al.* (2019) como costa Caraíba, diverge da costa Brasileira, no Norte do país, por apresentar menor intensidade dos ventos, variando desde 3 m/s até pequenos trechos onde os ventos atingem até 8 m/s (Figura 2).

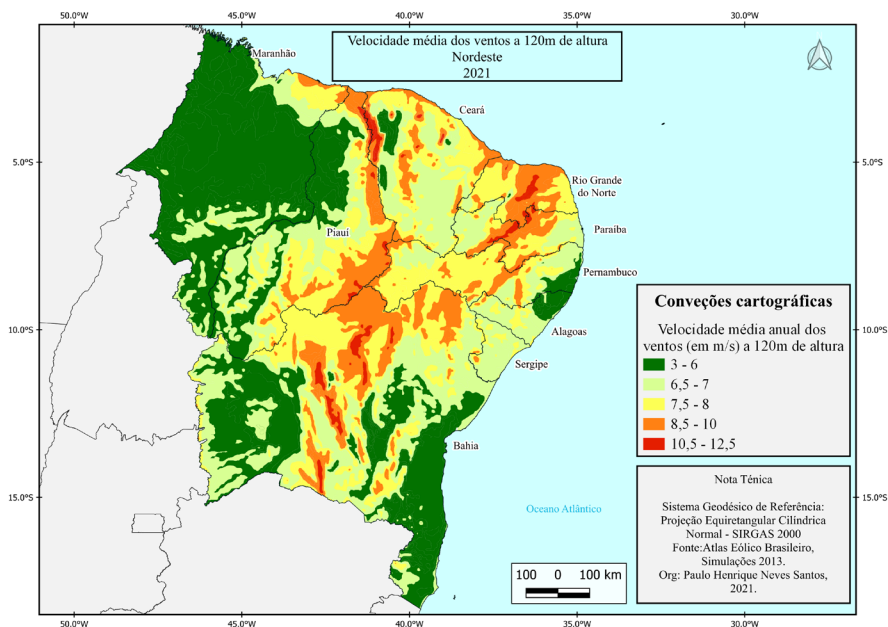


Figura 2 – Velocidade média dos ventos no Nordeste a 120m de altura.

Fonte: BRASIL, 2013.

Situado em uma zona com baixa velocidade dos ventos, na zona costeira de Sergipe predominam os ventos de Leste e de Nordeste, com pouca variação ao longo do ano. A velocidade dos ventos, por outro lado, varia conforme a mudança de estações, sendo verificada a intensificação de ventos mais rápidos no segundo semestre do ano.

Na estação meteorológica de Brejo Grande, município limítrofe entre Sergipe-Alagoas situado na zona costeira do estado, predominam os ventos de Nordeste, correspondendo a 30% do total, seguido pelos ventos de Leste, com 20%. A incidência de ventos fortes (acima de 8,8 m/s) no primeiro semestre é baixa, representando cerca de 1,8%. No segundo semestre há uma redução pouco expressiva dos ventos fortes, em torno de 0,6%, contrabalanceada pela maior incidência de ventos médios (3,60 a 8,8 m/s), representando um aumento de 4,7% em relação ao primeiro semestre (Figura 3).

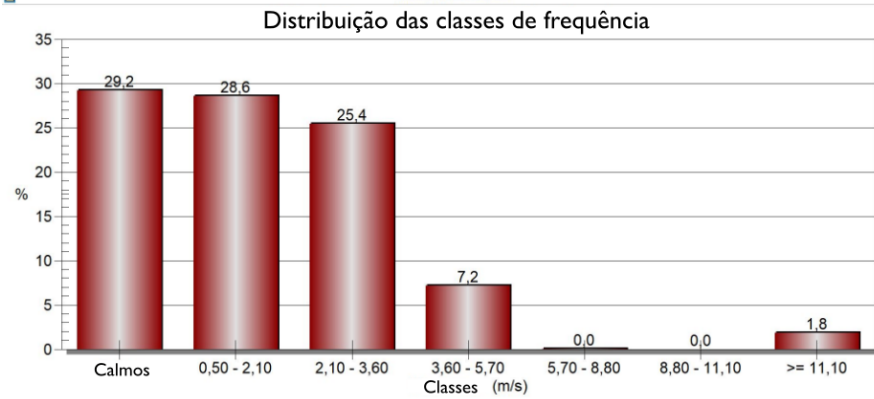
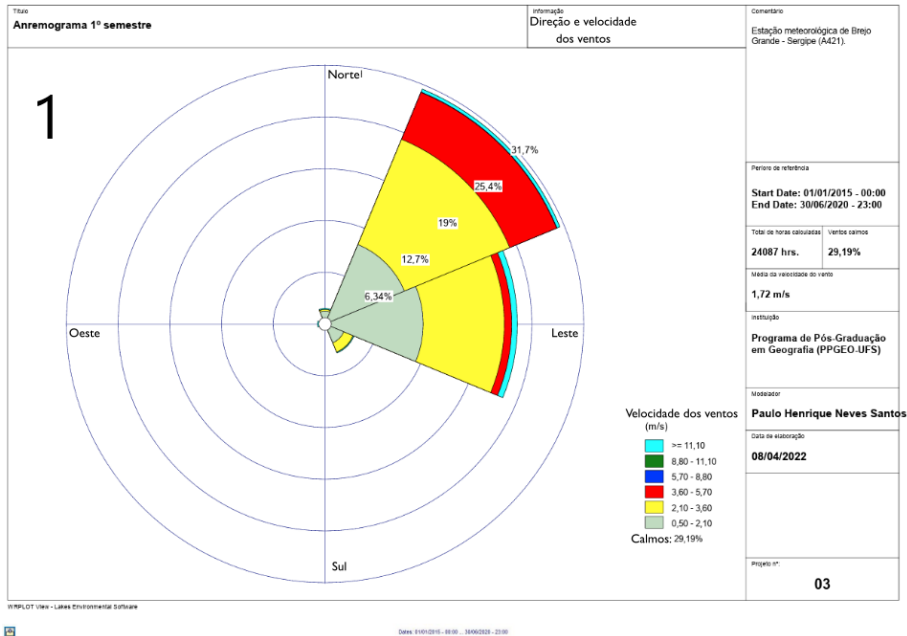


Figura 3 – 1) Anemograma da estação de Brejo Grande 1º semestre.

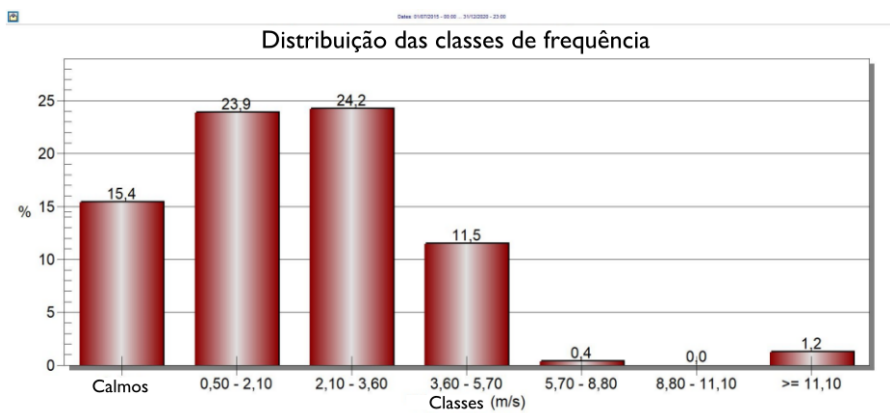
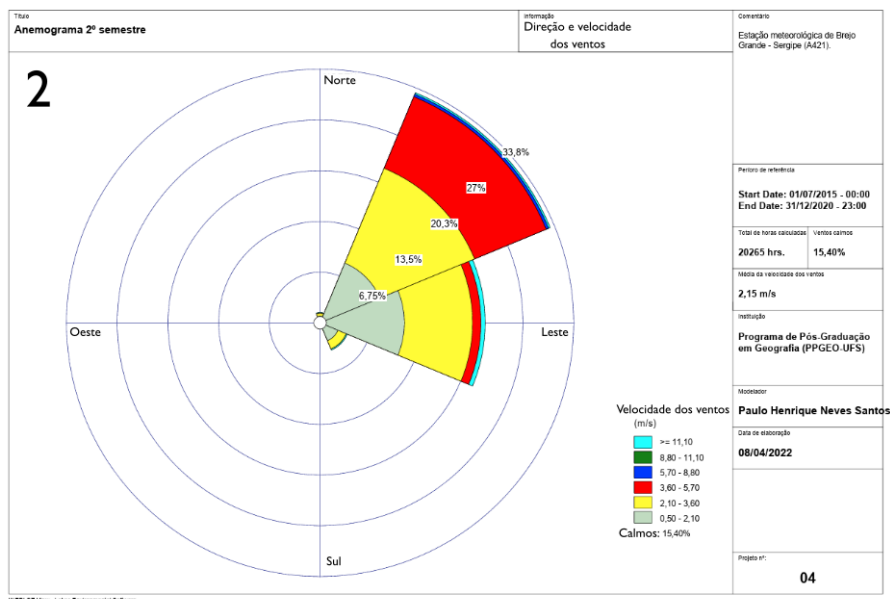


Figura 3 – 2) Anemograma da estação de Brejo Grande 2º semestre.
Fonte: INMET, 2023.

No município de Aracaju, também situado na zona costeira sergipana, predominam ventos de Leste ao longo do ano, com maior incidência de ventos médios (entre 3,6 a 8,8 m/s) no segundo semestre do ano, que, no primeiro semestre, representam 18,5% do total, e aumentam para 25,8% no segundo semestre (Figura 4).

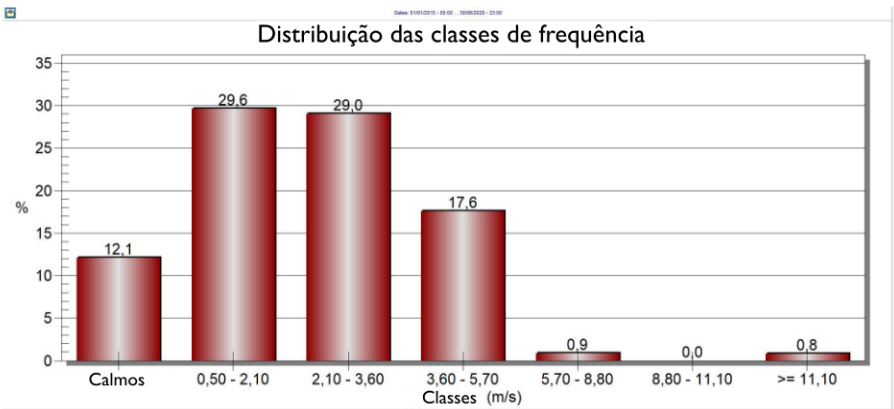
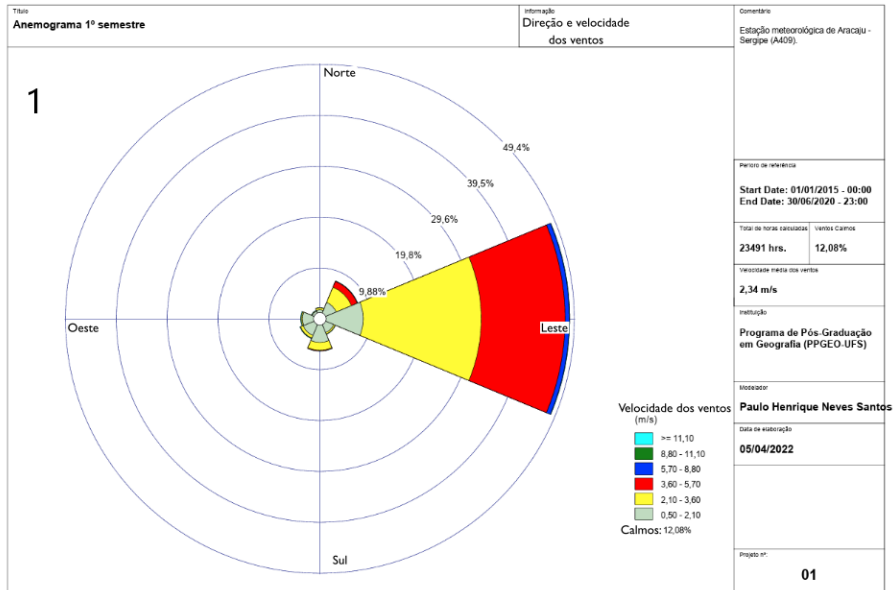


Figura 4 – 1) Anemograma da estação de Aracaju 1º semestre.

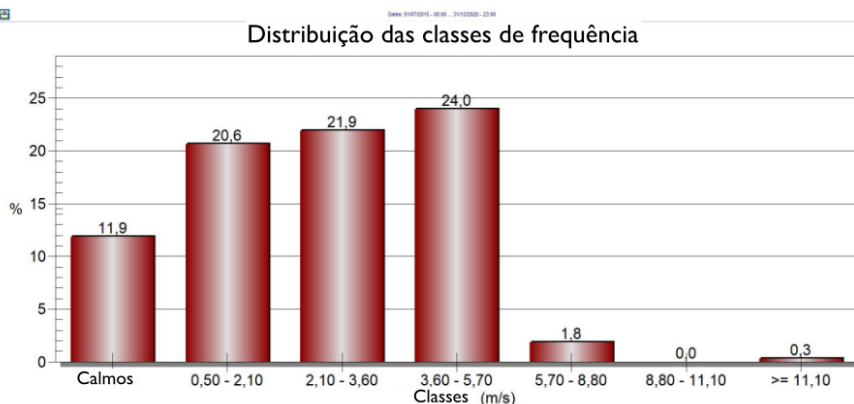
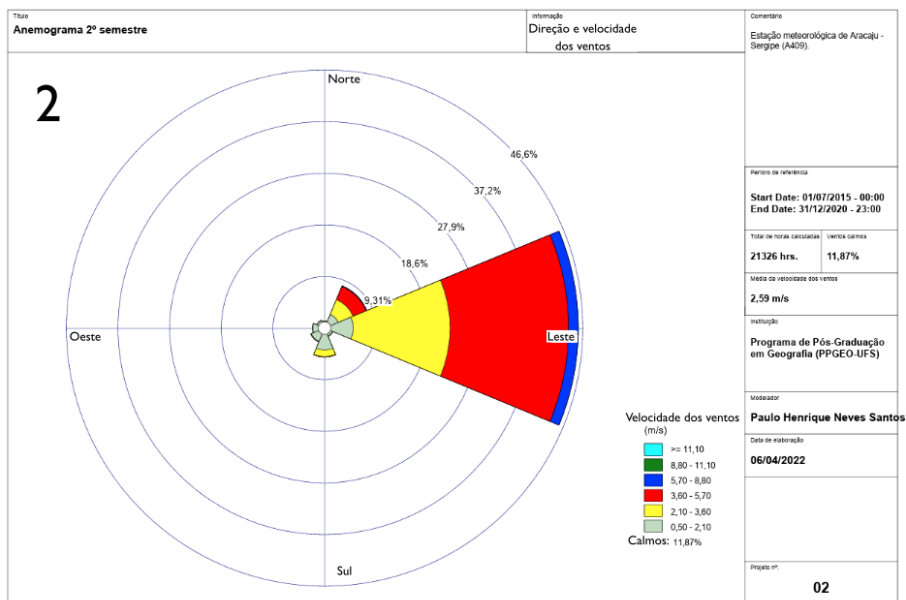


Figura 4 – 2) Anemograma da estação de Aracaju 2º semestre.

Fonte: INMET, 2023.

De modo geral, a Planície Costeira sergipana é um domínio geomorfológico instável, geologicamente recente e sensível ao desenvolvimento de atividades antrópicas, especialmente relacionadas à urbanização e à indústria, característica entendida como fraquezas para todo esse domínio geomorfológico, uma vez que se trata de um aspecto inerente à morfologia.

A Planície Costeira é um domínio geomorfológico formado durante o Quaternário, período geológico marcado por grandes mudanças ambientais provocadas pelo clima, devido às alternâncias entre períodos de glaciações e interglaciais, provocando altera-

ções no nível do mar, construindo ou destruindo os ambientes costeiros por mudar a posição da linha de costa (MARQUES, 2016).

Formada por processos morfogenéticos deposicionais e sobre a influência direta da dinâmica climática, a Planície Costeira sergipana é um domínio geomorfológico com trechos de elevada dinamicidade nos trechos associados às desembocaduras dos rios e aos trechos urbanizados na linha de costa (SANTOS, 2019). Esse caráter dinâmico reflete sobre sua estabilidade, pois atuam, paralelamente, processos marinhos, eólicos, fluviais e gravitacionais, sobre sedimentos depositados sob pouca influência do tempo geológico.

Ao longo da região Nordeste são evidenciados diversos processos de degradação ambiental sobre a Planície Costeira, corroborando com a perspectiva de inviabilidade da implantação de parques eólicos sobre esse domínio geomorfológico. Gorayeb e Brannstrom (2016) por exemplo, verificaram a supressão de lagoas interdunares na zona costeira do Ceará, na comunidade de Xavier, comprometendo a prática da pesca de subsistência. No estado do Rio Grande do Norte, Frate *et al.* (2019) identificaram a redução hídrica dos rios devido à dinâmica dos sedimentos arenosos das dunas, provocando o assoreamento dos recursos hídricos e a morte da flora aquática mais sensível.

Sobre a Planície Costeira sul de Sergipe são encontrados Planícies e Terraços fluviomarinhas nas áreas marginais aos canais fluviais, dunas de diferentes gerações intercaladas por depressões interdunares acompanhando a atual linha de costa, Planícies e Terraços marinhos na zona pós-dunas e os Tabuleiros Costeiros nas áreas mais interiores (Figura 5).

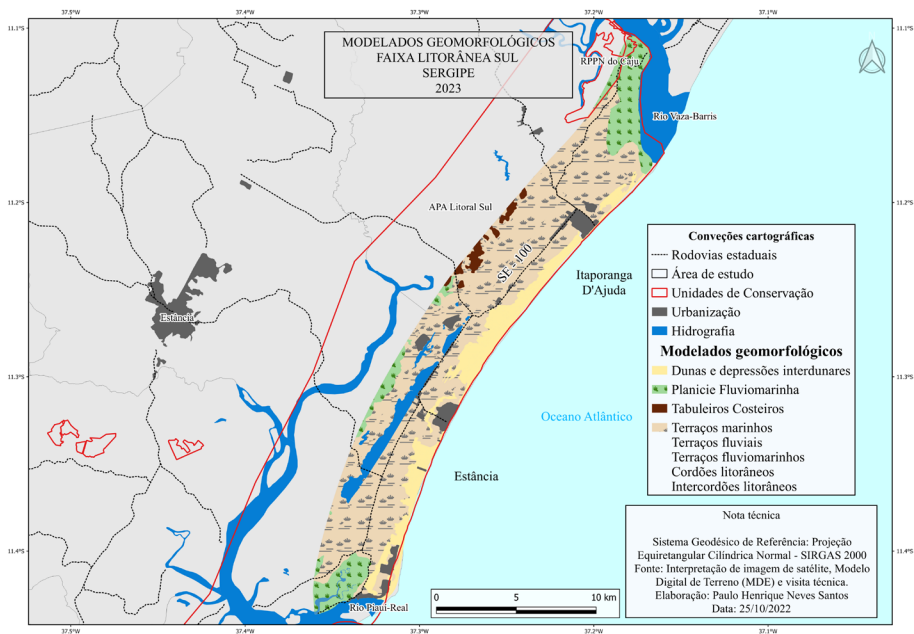


Figura 5 – Modelados geomorfológicos do litoral sul de Sergipe.

As áreas das dunas correspondem a depósitos sedimentares de tamanho variando conforme seu período de formação geológico, sendo maiores, mais desenvolvidas e mais estáveis nas áreas mais interioranas do continente correspondendo ao período Pleistoceno, e menores, menos desenvolvidas e mais dinâmicas, bordejando o litoral, referente à atual dinâmica climática-eustática, correspondendo ao Holoceno.

Esse domínio geomorfológico não é adequado a atividades urbano-industriais de modo geral, o que inclui parques eólicos *onshore*, por desempenharem funções geoecológicas de proteção costeira frente aos movimentos eustáticos, especialmente considerando perspectivas futuras de elevação do nível médio do mar.

As áreas das Planícies Fluviomarinhas são domínios geomorfológicos de morfogênese deposicional marinha e fluvial, onde é comum a formação do ecossistema manguezal, que tem função geoecológica de proteção costeira, além de ser berçário de diversas espécies aquáticas. Nesse domínio, as atividades urbanas e industriais também são impróprias em função da instabilidade dos sedimentos, que, em função do seu recente estágio evolutivo e da dinâmica fluviomarinha, não apresentam classificação de solo, sendo entendidos como solos indiscriminados de mangue pela ausência de formação do horizonte B diagnóstico.

Além disso, as áreas de manguezais são duplamente protegidas pelo atual Código Florestal (BRASIL, 2012), pois, conforme o Art. 4 são consideradas como Áreas de Preservação Permanente (APP) toda a extensão do manguezal e áreas marginais de qualquer canal fluvial natural e perene, como o caso do rio Vaza-Barris e do rio Piauí-Real, variando conforme a largura do canal.

As áreas dos Terraços correspondem ao domínio geologicamente mais antigo da Planície Costeira sergipana, de morfogênese marinha, fluvial e/ou fluviomarinha, são antigas áreas de planícies em diferentes condições paleoclimáticas, situadas em áreas mais interioranas do pós-dunas, geralmente em contato com os Tabuleiros Costeiros. Nesse segmento estão situados os cordões e intercordões litorâneos, morfologias que evidenciam antigas linhas de costas, com formato ondular, situados em cotas altimétricas mais baixas em relação aos terraços, formando áreas de acumulação hídrica.

Embora seja a área relativamente mais estável da Planície Costeira, sobre os terraços marinhos são encontradas morfologias fundamentais para a manutenção da dinâmica costeira, a exemplo dos cordões e intercordões litorâneos, que são fundamentais para a manutenção hídrica do lençol freático, o que restringe a implantação de parques eólicos *onshore*.

Sobre o litoral sul sergipano, onde predomina a Planície Costeira no recorte adotado, a fragilidade morfológica é classificada como uma de suas principais fraquezas, onde são encontradas morfologias que desempenham funções geoecológicas importantes para a morfodinâmica costeira, como as dunas, que bordejam grande parte do litoral sul e atuam como barreira para a circulação dos ventos em baixas altitudes, e os cordões litorâneos, que ocupam grande expressão das áreas pós-dunas que são facilmente alagadas durante o período chuvoso.

Do ponto de vista infraestrutural, o litoral sul apresenta boas condições rodoviárias para o rápido deslocamento para a capital Aracaju, facilitando a interligação e o transporte de equipamentos e maquinários, especialmente durante horário comercial, uma

vez que a maior parte do fluxo neste trecho da SE-100 ocorre durante finais de semana e feriados, que se destinam aos principais pontos de adensamento urbano do litoral sul, as praias da Caueira, do Abaís e do Saco.

Por outro lado, a ausência de infraestruturas necessárias para o armazenamento e distribuição de energia, como uma subestação energética e a ausência de um centro urbano estruturado, se configuram como ameaças ao setor de energia eólica nesse recorte territorial.

Outro ponto de destaque refere-se à ausência de políticas de incentivo à produção de energia eólica no estado, perspectiva que se tornou mais evidente entre os anos de 2008 a 2010, mas que atualmente se encontra marginalizada, especialmente levando em consideração os incentivos à energia solar, através da instituição da Política Estadual de Incentivo à Geração e Aproveitamento da Energia Solar (SERGIPE, 2018).

Diante desse cenário, o litoral sul de Sergipe não é uma área viável para a produção de energia eólica *onshore*, considerando a maior incidência das fraquezas, ancoradas em um contexto socioterritorial pouco favorável para o segmento de energia eólica (Quadro 2).

Quadro 2 – Relação das forças, oportunidades, fraquezas e ameaças para a implantação de parques eólicos *onshore* na faixa litorânea sul de Sergipe.

Parâmetros internos	Parâmetros externos
Forças	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Elevação da incidência dos ventos no segundo semestre • Ventos apresentam pouca variação de direção ao longo do ano 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca densidade populacional • Pouco fluxo rodoviário em horário comercial • Proximidade com a capital Aracaju • Adensamento populacional disperso, concentrado nas praias da Caueira, do Abaís e do Saco • Ausência de barreiras artificiais
Fraquezas	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade dos ventos relativamente fraca quando se comparado a outras regiões costeiras • Morfologias frágeis às atividades antrópicas • Presença de barreiras naturais para a circulação dos ventos em baixas alturas • Presença de áreas alagadas perenes • Dunas com elevado grau de desenvolvimento bordejando grande parte do litoral • Elevada incidência de corrosão de equipamentos pelos efeitos da maritimidade • Tabuleiros Costeiros são relativamente distantes da atual linha de costa 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de subestação energética • Ausência de incentivos fiscais • Distância para centros urbanos • Desencadeamento de conflitos socioterritoriais com atividades tradicionais, como a coleta de mangaba • Comprometimento da paisagem turística natural • Potencial de comprometer a dinâmica econômica local relacionada ao turismo • Potencial de infração do Art. 4º do Código Florestal, uma vez que grande parte das dunas estão fixadas por vegetação de restinga • Potencial de descaracterização das morfologias costeiras, especialmente as dunas

Assim como no litoral sul, o litoral norte de Sergipe também é formado por uma composição geológico-geomorfológica recente, dinâmica e instável, onde atuam processos de deposição fluvial, marinho e eólico, dando origem a uma paisagem relativamente plana sobre a Planície Costeira, rompida pelos grandes depósitos de sedimentos areno-quartzosos que compõem os extensos campos de dunas que bordejam parte do litoral norte (Figura 6).

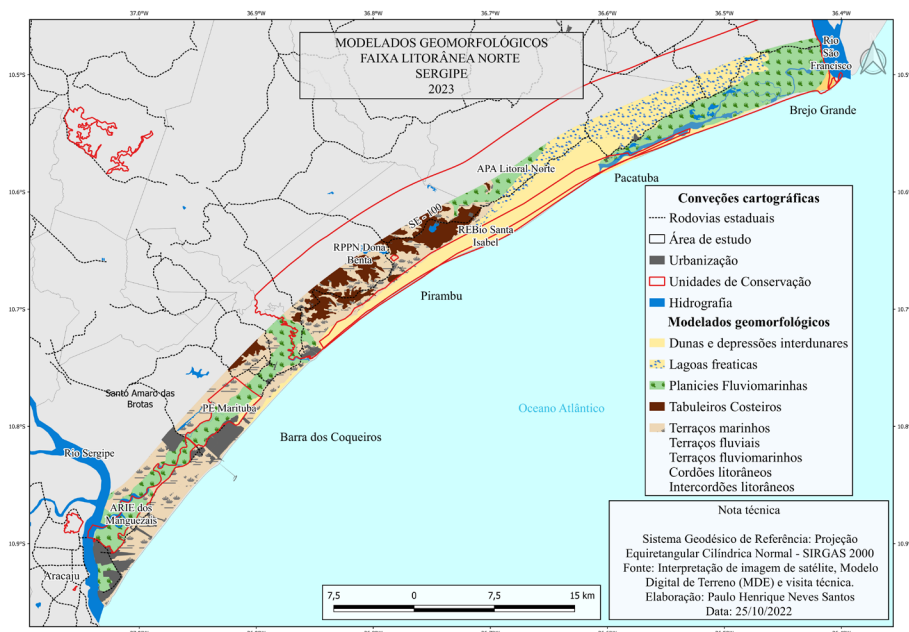


Figura 6 – Modelados geomorfológicos do litoral norte de Sergipe.

A maior expressão de morfologias de morfogênese fluviomarinha no litoral norte de Sergipe evidencia maior atuação deposicional da rede hidrográfica, onde estão situadas as desembocaduras de dois grandes rios do estado, o rio Sergipe, limite geográfico entre Aracaju e Barra dos Coqueiros, e o rio São Francisco, limite geográfico do estado de Sergipe e Alagoas.

Os domínios de morfogênese fluviomarinha sergipanos possuem tendência de se manterem alagados durante o período chuvoso, entre abril a agosto, em função do lençol freático elevado, originando a formação de lagoas de tamanhos variados ao longo da Planície Costeira norte de Sergipe, representando uma fraqueza para processos urbanos-industriais nesse domínio.

À medida que se aproxima da desembocadura do rio São Francisco, entre os municípios de Pacatuba e Brejo Grande, é comum na paisagem a formação de lagoas freáticas, provenientes da acumulação da precipitação em poças em virtude da saturação do solo, que, quando se mantém alagado por um longo período, é comum a colonização por espécies da flora aquática a exemplo da Taboa (*Typha domingensis*), que é utilizada

por grupos sociais para a confecção de produtos artesanais, movimentando a economia local.

O menor desenvolvimento urbano ao longo da SE-100 no litoral norte de Sergipe favorece a conservação da paisagem natural, onde são encontrados extensos campos de dunas paralelos à linha de costa, que se portam como barreiras para a circulação dos ventos em baixas alturas.

Outro vetor de conservação do litoral norte de Sergipe é a Reserva Biológica Santa Isabel (REBio Santa Isabel), unidade de conservação de proteção integral na Planície Costeira que se impõe como uma barreira legal contra o avanço de atividades antrópicas sobre grande extensão das dunas dos municípios de Pirambu e Pacatuba, sendo fundamental para a conservação da paisagem e para a reprodução das tartarugas marinhas.

Considerando o recorte de 5 km da atual linha de costa, no litoral norte de Sergipe também há a presença dos Tabuleiros Costeiros no trecho do município de Pirambu, domínio geomorfológico mais adequado para parques eólicos *onshore*, por serem geologicamente mais antigos do que a Planície e, portanto, relativamente mais estáveis (MEIRELES, 2019).

O maior grau de conservação da paisagem natural do litoral norte também é reflexo das condições da SE-100, a qual se encontra pavimentada poucos km após a sede do município de Pacatuba, encontrando-se sem pavimentação por um longo percurso até seu fim às margens do rio São Francisco, em Brejo Grande. As dificuldades de deslocamento em virtude das condições da SE-100, especialmente durante o período chuvoso quando há formação de lagoas temporárias sobre a rodovia, atuam em favor da preservação natural desse recorte.

A partir desse contexto, a Planície Costeira do litoral norte de Sergipe também demonstra estar pouco apta para a implantação de parques eólicos *onshore*, considerando seu elevado grau de conservação e restrições de infraestruturas básicas, que, além de não possuir rodovia pavimentada, não há subestação energética no recorte adotado, configurando um cenário desafiador para qualquer tipo de investida desse segmento (Quadro 3).

Quadro 3 – Relação das forças, oportunidades, fraquezas e ameaças para a implantação de parques eólicos *onshore* na faixa litorânea norte de Sergipe.

Parâmetros internos	Parâmetros externos
Forças	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Elevação da incidência dos ventos no segundo semestre • Ventos apresentam pouca variação de direção ao longo do ano • Tabuleiros Costeiros a poucos km da atual linha de costa • Menor potencial de desencadear conflitos socioterritoriais sobre os Tabuleiros Costeiros • Menor potencial de descaracterização da paisagem natural sobre os Tabuleiros Costeiros 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca densidade populacional • Pouco fluxo rodoviário diário • Adensamento populacional disperso após a sede de Pacatuba, concentrados em pequenos povoados ao longo da SE-100 • Ausência de barreiras artificiais
Fraquezas	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade dos ventos relativamente fraca quando se comparado a outras regiões costeiras • A Planície Costeira consiste em um domínio geomorfológico frágil às atividades antrópicas • Presença de barreiras naturais para a circulação dos ventos em baixas alturas • Presença de áreas alagadas perenes, aumentando sua extensão durante o período chuvoso • Dunas com elevado grau de desenvolvimento bordejando grande parte do litoral • Elevada incidência de corrosão de equipamentos pelos efeitos da maritimidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestrutura rodoviária em boas condições a poucos km após a sede de Pacatuba • Presença de unidade de conservação de proteção integral: potencial de parques eólicos gerarem conflitos socioambientais • Ausência de subestação energética • Ausência de incentivos fiscais • Distância para centros urbanos • Desencadeamento de conflitos socioterritoriais com atividades tradicionais, como o artesanato com a taboa • Comprometimento da paisagem turística natural • Potencial de infração do Art. 4º do Código Florestal, uma vez que grande parte das dunas estão fixadas por vegetação de restinga • Potencial de descaracterização das morfologias costeiras, especialmente as dunas

Considerando as características socioambientais do litoral norte e sul do litoral sergipano, a área mais adequada para a implantação de parques eólicos *onshore* está situada sobre um fragmento do topo do Tabuleiro Costeiro no município de Pirambu, a cerca de 60 m de altitude, distando cerca de 2,5 km da linha de costa atual, com área de aproximadamente 64 hectares (Figura 7).

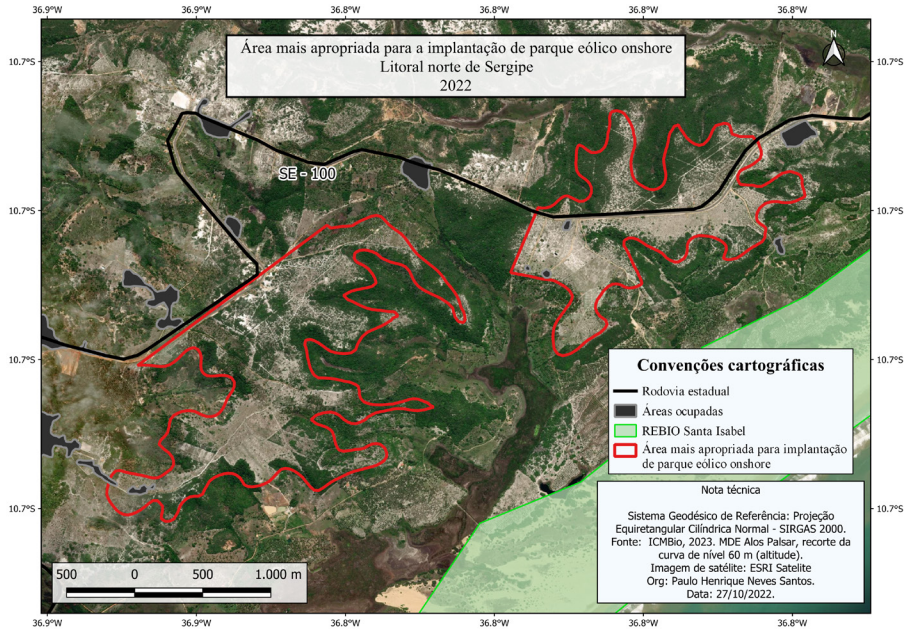


Figura 7 – Delimitação da área mais apropriada para a implantação de parque eólico *onshore* no litoral norte de Sergipe.

Nesse fragmento são encontrados alguns sítios privados onde são desenvolvidas atividades agropecuárias, sendo uma área que já foi alvo de monitoramento para a implantação de parques eólicos na década de 2000, onde há baixo potencial para desencadear conflitos socioterritoriais e para se tornar vetor de degradação ambiental (Figura 8). Embora esteja situada dentro da Área de Proteção Ambiental Litoral Norte, até então essa UC não dispõe de um plano de manejo com respectivo zoneamento ambiental, não havendo, portanto, restrições quanto à legislação ambiental.

A



B



Figura 8 – A) Paisagem do topo predominantemente tabular do Tabuleiro Costeiro indicado para a implantação de parque eólico *onshore*, Pirambu (SE); B) Paisagem do topo do Tabuleiro em direção à Planície Costeira, Pirambu (SE).

Fotografias: autores (2022)

Conclusões

Os procedimentos metodológicos adotados se mostraram satisfatórios para os objetivos propostos, com destaque para a matriz SWOT, através da qual foi possível melhor

identificar quais fatores socioambientais representam forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para a implantação de parques eólicos *onshore* no litoral sergipano, sendo uma ferramenta interessante para análises geoecológicas por direcionar quais são as potencialidades e as fragilidades de uma determinada área.

O incremento de novos fatores para a avaliação da implantação de parques eólicos *onshore* evidenciou a importância de uma abordagem geoecológica para esse segmento, frente aos potenciais impactos que podem ser desencadeados caso fatores socioeconômicos sejam marginalizados, sendo uma discussão necessária para fundamentar o setor público e o privado quanto aos estudos sobre os contextos socioterritoriais.

Como evidenciado pela literatura, grande parte dos impactos associados aos parques eólicos *onshore* são conflitos socioterritoriais, especialmente quando situados em ambientes litorâneos, que nas últimas décadas se tornou um dos ambientes mais valorizados pela sociedade atual em função das singularidades geográficas. Esses conflitos derivam da marginalização das características naturais dos ambientes litorâneos, representados pelas suas potencialidades e fragilidades ambientais, e do contexto socioterritorial, uma vez que o ambiente litorâneo ainda comporta vasta diversidade de grupos socioeconômicos tradicionais, que têm dinâmica social diferente da dinâmica urbana.

Entre uma das principais limitações quanto à produção de energia eólica *onshore* no estado de Sergipe, é destacada a baixa velocidade dos ventos ao longo do ano, que torna os parques eólicos economicamente pouco atrativos, uma vez que demandam massivos investimentos iniciais e manutenção regular, especialmente em função dos efeitos da maritimidade sobre materiais de ferro. Esse contexto condiciona o segmento energético a duas perspectivas para que se torne viável: 1) elevado potencial de geração de energia ao longo dos anos; ou 2) baixo custo de investimentos e de manutenção.

Nesse sentido, é fundamental que a geografia se antecipe ao mercado, especialmente considerando que a produção de energia eólica no Brasil ainda é de domínio do capital privado, que, historicamente, marginaliza as características naturais dos ambientes litorâneos, promovendo alterações profundas sobre a Planície Costeira, desencadeando a degradação ambiental de ecossistemas sensíveis, como evidenciado em diversos trechos dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, C. C. B. de et al. Panorama da energia eólica sob a perspectiva dos impactos ambientais no Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 6, n. 14, p. 697-712, 2019.

ARAÚJO, J. C. H. et al. Sustainability challenges of wind power deployment in Coastal Ceará State, Brazil. *Sustainability*, v. 12, 2020.

BRANNSTROM, C. et al. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. *Renewable and Sustainable Energy*, v. 37, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Plano Nacional de Energia 2030*. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, EPE, 2007.

_____. Código Florestal. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 13 fev. 2020.

_____. *Atlas eólico brasileiro, simulações 2013*. 2013. Disponível em: <Mapas temáticos – Atlas Eólico Brasileiro (cepel.br)>. Acesso em: 05 fev. 2021.

_____. *Plano Nacional de Energia – 2050*. Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-energia/plano-nacional-de-energia-2050/relatorio-final/relatorio-final/relatorio-final-do-pne-2050.pdf/view>>. Acesso em: 19 dez. 2023.

CAMPELO, J. R. *et al.* *Complexo eólico chapada do Piauí I: benefícios sociais e impactos ambientais no município de Marcolândia, estado do Piauí*. *Geografia* (Londrina), v. 29, n. 1, 2020.

COSTA, V. S. *Território em mutação: a implantação de central geradora eólica em Sergipe*. Dissertação (mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

DAMASCENO, V. S.; ABREU, Y. V. Avaliação da energia eólica no Brasil utilizando a análise SWOT e PESTEL. *Interações* (Campo Grande), v. 19, p. 503-514, 2018.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E. CPRM – Serviço Geológico. *Origem das paisagens do estado de Sergipe*. Geodiversidade do estado de Sergipe. Salvador: CPRM, 2017.

ESPÉCIE, M. A. *et al.* Avaliação de Impacto Ambiental em projetos eólicos no Brasil: uma análise a partir de estudos ambientais de empreendimentos vencedores nos Leilões de Energia. *In: 4º Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto: Ética e Avaliação de Impacto Ambiental*, 2018.

FERNANDES, M. C. Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geocológicas. *In: Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica*, p. 280-299. 1. ed. Rio de Janeiro: Publit, 2009.

FERNANDEZ, G. B. *et al.* Natural Landscapes along Brazilian Coastline. *In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. The Physical Geography of Brazil: Environmental, Vegetation and Landscape*. Springer Nature Switzerland, 2019.

FRATE, C. A. *et al.* Procedural and distributive justice informe subjectivity regardin Wind power: a case from Rio Grande do Norte, Brazil. *Energy Policy*, v. 132. 2019.

GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Caminhos para uma gestão participativa dos recursos energéticos de matriz renovável (parques eólicos) no Nordeste do Brasil. *Mercator*, v. 15, n. 1, 2016.

HACES-FERNANDEZ, F. *et al.* Onshore wind farm development: technologies and layouts. *Energies*, 2022.

IBGE. *Geociências: Informações ambientais*. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

INMET. Histórico de dados meteorológicos. 2023. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

LEITE, D. B.; SOUZA, E. P. Tendências do cenário energético brasileiro: a energia de fonte eólica e o “olhar” dos atingidos. *Ciência e Natura*, v. 37, n. 3, p. 243-250, 2015.

LOUREIRO, C. V. *et al.* Implantação de energia eólica e estimativa das perdas ambientais em um setor do litoral oeste do Ceará, Brasil. *Geosaberes*, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 24, 2015.

MARQUES, J. S. A geomorfologia no planejamento e gestão dos espaços costeiros e de seus recursos. In: MARQUES, J. S. *et al.* *Geomorfologia Costeira*. Fundação CECIERJ. Centro de Educação Superior a distância do estado do Rio de Janeiro, 2016.

MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. 2019. In: GORAYEB, A. (org). *Impactos socioambientais da implantação de parques de energia eólica no Brasil*. Fortaleza: UFC, 2019.

MELO, E. *Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade*. Estudos avançados, v. 27, p. 125-142, 2013.

MIAO, S. *et al.* A two-phase wind speed simulation model considering diurnal and seasonal patterns and its application to adequacy assessment. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 13, n. 5, p. 053304, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedaily.com/releases/2021/10/211012112301.htm>>. Acesso em: 19 abr. 2022.

MIKKAN, R. Geomorfologia y energia eólica. *Finisterra*, XXVII, 53-54, p. 195-204, 1992.

NETO, C. R. O.; LIMA, E. C. Mercado eólico e desenvolvimento regional: Perspectivas de formação de uma indústria eólica motriz para o nordeste brasileiro. *Orbis Latina*, v. 6, n. 2, p. 129-153, 2016.

NUNES, A. C. P. *et al.* Percepção ambiental na proposição de indicadores para avaliação de impactos ambientais de parques eólicos. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 41, 2019.

PAIVA, I.; LIMA, E. C. Conflitos ambientais: energia eólica e seus impactos socioambientais no interior do Ceará. *Geographia Opportuno Tempore*, v. 3, n. 2, p. 306-318, 2017.

PAULINO, S. R. *et al.* Conflitos socioambientais e a implantação de parques eólicos no Nordeste brasileiro. *Sustainability in Debate*, Brasília, v. 14, n. 3, 2023.

PINTO, L. I. C. *et al.* O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. *Revista Ambiente & Água*, v. 12, 2017.

RUIZ, J. M.; SERRANO, M. L. T. Elección de criterios y valoración de impactos ambientales para la implantación de energía eólica. *Papeles de Geografía*, n. 47-48, p. 171-183, 2008.

SANTOS, A. N. G. A energia eólica no litoral do NE no Brasil: desconstruindo a "sustentabilidade" para promover "justiça ambiental". *Heinrich-Böll-Stiftung e-paper*, p. 1-18, 2014.

SANTOS, J. P. S. *Linha de costa e faixa de proteção à erosão costeira: um estudo de caso nas praias do Saco, do Abaís e da Caueira, sul de Sergipe*. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/handle/riufs/11642>>. Acesso em: 19 fev. 2024.

SERGIPE. *Institui a Política Estadual de Incentivo à Geração e aproveitamento da Energia solar no estado de Sergipe dá providências correlatas*. 2018. Disponível em: <<https://leiestaduais.com.br/se/lei-ordinaria-n-8467-2018-sergipe-institui-a-politica-estadual-de-incentivo-a-geracao-e-aproveitamento-da-energia-solar-no-estado-de-sergipe-e-da-providencias-correlatas>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SILVA, A. J. V. C. *Potencial eólico offshore no Brasil: localização de áreas nobras através de análise multicritério*. 2019. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Dissert_AJVCSilva.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2024.

SOBRAL, M. *A contribuição do Atlas Eólico para o estado de Sergipe*. 2021. Disponível em: <https://sergipetec.org.br/uploads/2021/10/Ler.mais_.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

SOUSA, F. C. Energia eólica: desenvolvimento energético e os conflitos socioambientais inerentes à modalidade energética. *Revista Semiárido De Visu*, v. 5, n. 3, p. 180-191, 2017.

TACHIZAWA, T.; FREITAS, A. A. V. *Estratégias de negócios: lógica e estrutura do universo empresarial*. Rio de Janeiro: Pontal, 2004.

UDAETA, M. E. M. *Novos instrumentos de planejamento energético e o desenvolvimento sustentável – Planejamento integrado de recursos energético na USP: Pesquisa científica realizada e ferramentas metodológicas consolidadas do PIR na USP aplicadas à RAA*. Tese de Livre-Docência. São Paulo, 2012.

Recebido em: 31/01/2024.

Aceito em: 10/03/2024.