



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

PATRÍCIA SALES STADLER

**ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PARQUES EÓLICOS NO
MUNICÍPIO DE TRAIRI NO CEARÁ**

FORTALEZA

2021

PATRÍCIA SALES STADLER

ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PARQUES EÓLICOS NO
MUNICÍPIO DE TRAIRI NO CEARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira de Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Estêvão Rolim Fernandes.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S774e Stadler, Patrícia Sales.
Estudo dos impactos ambientais de parques eólicos no município de Trairi no Ceará / Patrícia Sales Stadler. – 2021.
71 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Carlos Estêvão Rolim Fernandes.
1. Energias renováveis. 2. Energia eólica. 3. Impactos ambientais. 4. Ações mitigatórias. 5. Ceará. I.
Título.

CDD 621.042

PATRÍCIA SALES STADLER

ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PARQUES EÓLICOS NO
MUNICÍPIO DE TRAIRI NO CEARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira de Energias Renováveis.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Estêvão Rolim Fernandes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Ana Fabiola Leite Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus avós, Elza e Josef.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cristiane e Vicente, por serem a base de tudo que eu sou e estarem sempre ao meu lado em todas situações difíceis e felizes, compartilhando os melhores momentos da vida.

Ao meu irmão, André, pelo companheirismo e parceria diários, sendo o melhor irmão e amigo que poderia imaginar.

As minhas amigas do Crau, Larissa, Carla, Nathália e Taís, que estão presentes todos os dias, dividindo a vida comigo e sendo porto seguro sempre. Tenho certeza que estaremos juntas pra tudo.

Aos amigos do Grupito, que me acompanham desde o colégio, crescendo juntos, deixando todos dias mais leves e colecionando momentos incríveis.

Ao meu Squad, Fabi, Mafê e Vi, mulheres incríveis que foram verdadeiros presentes que o destino me fez encontrar.

Aos meus amigos da EEMA, que tornaram todo o percurso da graduação mais divertido e cuja parceria e amizade foi essencial ao longo dos anos.

Ao Prof. Carlos Estêvão Rolim Fernandes, por todo suporte e orientação.

À professora Ana Fabiola Leite Almeida por ser inspiração como mulher na engenharia e por aceitar compor minha banca. Ao Prof. Francisco Nivaldo Aguiar Freire por aceitar meu convite de forma tão repentina, contribuindo com seus comentários.

“The nation that leads in renewable energy will be the nation that leads the world”

James Cameron

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para realização de levantamento, análise e recomendação de técnicas e ações de mitigação dos impactos ambientais decorrentes da geração de energia eólica nos meios físico e biótico de ecossistemas no litoral do Estado do Ceará. Define-se o município do Trairi como recorte de interesse com base na quantidade de parques instalados em áreas de importância cultural, econômica e turística no litoral cearense, assim como pelas características das unidades ambientais da região. A pesquisa traz a identificação e avaliação dos impactos gerados na implantação e operação de três empreendimentos selecionados no município de Trairi, por meio da análise do documento EIA/RIMA. Os principais efeitos identificados são danos à flora e fauna local, emissão de ruídos e sombras, impacto visual na paisagem e interferências eletromagnéticas. É realizada análise crítica dos efeitos identificados, mostrando a falta de padronização dos estudos, subestimação e falta de detalhamento de efeitos significativos e mensuração insuficiente dos impactos. É elaborado um plano de ações e boas práticas para reduzir ou evitar os efeitos identificados, incluindo a elaboração de mapas de zoneamento, reforço das legislações, escolha de turbinas modernas, estudos e simulações com auxílio de softwares, entre outras ações de mitigação.

Palavras-chave: Energias Renováveis. Energia eólica. Impactos Ambientais. Ações mitigatórias. Trairi. Ceará.

ABSTRACT

This work presents a methodology for carrying out a survey, analysis and recommendation of techniques and actions to mitigate the environmental impacts resulting from wind energy generation in the physical and biotic environments of ecosystems on the coast of the State of Ceará. The county of Trairi is defined as an area of interest based on the number of wind farms installed in areas of cultural, economic and tourist importance on Ceará' coast, as well as the characteristics of the environmental units in the region. The research identifies and assesses the impacts generated in the implementation and operation of three projects selected in the county of Trairi, through the analysis of the EIA document. The main effects identified are damage to local flora and fauna, emission of noise and shadows, visual impact on the landscape and electromagnetic interference. A critical analysis of the identified effects is performed, showing the lack of standardization of studies, underestimation and lack of detailing of significant effects and insufficient measurement of impacts. An action plan and good practices are drawn up to reduce or avoid the identified effects, including the preparation of zoning maps, enforcement of legislation, choice of modern turbines, studies and simulations with the aid of softwares, among other mitigation actions.

Keywords: Renewable Energy. Wind Energy. Environmental Impacts. Mitigation Actions. Trairi. Ceará.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Principais componentes de um aerogerador de eixo horizontal	19
Figura 2	– (a) Primeira turbina eólica instalada no Brasil, em Fernando de Noronha e (b) Usina Morro de Carmelinho em Gouveia (MG)	21
Figura 3	– Potencial eólico estimado no Brasil para vento médio anual igual ou maior que 7 m/s	23
Figura 4	– Capacidade instalada e número de parques por estado no Brasil até 15 de junho de 2021.....	24
Figura 5	– Matriz elétrica do Ceará por origem de combustível em 11 de julho de 2021	25
Figura 6	– Mapeamento das unidades geoambientais de Trairi	27
Figura 7	– Construção da fundação de parque eólico em Trairi	30
Figura 8	– Fluxo de vento ao incidir com a aerodinâmica da pá eólica	32
Figura 9	– Paisagem atual no distrito de Mundaú em Trairi	34
Figura 10	– Delimitação dos parques eólicos a serem estudados	41
Figura 11	– Alterações no projeto da Central Eólica Trairi da (a) fase de licenciamento prévio em 2008, a (b) concepção final em 2011	43
Figura 12	– Central Eólica Trairi	43
Figura 13	– Zoneamento ambiental do empreendimento da Central Eólica Trairi	44
Figura 14	– Área de implantação do projeto UEE Embuaca	45
Figura 15	– Distribuição dos aerogeradores na UEE Embuaca	46
Figura 16	– Zoneamento ambiental da área do empreendimento UEE Embuaca	47
Figura 17	– Configuração do empreendimento Central Eólica Cacimbas	48
Figura 18	– Central Eólica Cacimbas, em Trairi	48
Figura 19	– Zoneamento ambiental da área do empreendimento Cacimbas	49
Figura 20	– Cenário atual versus cenário de tendência de crescimento no litoral de Flecheiras	58
Figura 21	– Aerogeradores da Central Eólica Trairi na região de dunas móveis	60
Figura 22	– Supressão vegetal em área de dunas fixas	60
Figura 23	– Mapa de zoneamento para Lasithi, Grécia	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Evolução anual da capacidade de novas instalações e total instalado no mundo de energia eólica	20
Gráfico 2	– (a) Distribuição da capacidade total instalada onshore por país, (b) Distribuição de nova capacidade instalada onshore em 2020 por país	20
Gráfico 3	– Matriz elétrica brasileira	22
Gráfico 4	– Evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil	23
Gráfico 5	– Quantidade de parques eólicos por município no Ceará	26
Gráfico 6	– Capacidade total instalada em MW de parques eólicos por município do Ceará	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Detalhamento de empreendimentos eólicos de Trairi	28
Quadro 2 –	Critérios e parâmetros para identificação e avaliação de impactos ambientais para empreendimentos eólicos	39
Quadro 3 –	Configuração do Complexo Trairi na fase de licença prévia e projeto final .	42
Quadro 4 –	Avaliação dos impactos ambientais para a Central Eólica Trairi	50
Quadro 5 –	Avaliação dos impactos ambientais da UEE Embuaca	53
Quadro 6 –	Avaliação dos impactos de caráter adverso da UEE Embuaca	53
Quadro 7 –	Avaliação dos impactos ambientais da Central Eólica Cacimbas	55
Quadro 8 –	Ações mitigadoras para impactos ambientais de parques eólicos	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CEC	Clean Energy Council
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
GWEC	Global Wind Energy Council
IEM	Interferência Eletromagnética
PIE	Produtor Independente de Energia
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA	16
3	OBJETIVOS	17
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
4.1	Histórico da energia eólica	18
4.2	Energia eólica no Brasil	21
4.3	Ceará como potencial para energia eólica	24
4.4	Município de Trairi, no Ceará	27
4.5	Impactos ambientais da energia eólica	29
4.5.1	<i>Fauna e flora</i>	30
4.5.2	<i>Ruído</i>	31
4.5.3	<i>Impacto visual</i>	33
4.5.4	<i>Interferência eletromagnética</i>	34
4.6	Legislação para estudos de impactos ambientais	35
5	METODOLOGIA	39
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1	Parques eólicos situados no Trairi	41
6.1.1	<i>Central Eólica Trairi</i>	42
6.1.2	<i>Usina Eólio-Elétrica - UEE Embuaca</i>	45
6.1.3	<i>Central Eólica Cacimbas</i>	47
6.2	Identificação dos impactos ambientais	49
6.2.1	<i>Central Eólica Trairi</i>	50
6.2.2	<i>Usina Eólio-Elétrica - UEE Embuaca</i>	52
6.2.3	<i>Central Eólica Cacimbas</i>	55
6.3	Análise dos impactos ambientais no Trairi	57
6.4	Ações mitigadoras	61
7	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Há décadas, a sociedade vem passando por um avanço acelerado, gerando diversas alterações no modo de viver. O ritmo de crescimento da sociedade trouxe à tona o diálogo sobre sustentabilidade, com a difusão de conceitos de ecodesenvolvimento, pelo professor Ignacy Sachs em 1973, e desenvolvimento sustentável, trazido em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela Assembleia Geral das Nações Unidas (LIMA, 1997).

De acordo com Farias *et al.* (2020), o crescimento populacional e econômico, ligado ao consumo exacerbado, vem trazendo destaque em discussões pela utilização desenfreada de recursos naturais. É inegável o quanto a sociedade evoluiu em diversos aspectos, porém esses fatores vem trazendo uma preocupação voltada ao intenso processo de globalização, que pode levar a crises ambientais e sociais (MARTINE; ALVES, 2015).

Diante disto, debates estão sendo fomentados acerca do comportamento da indústria e hábitos de consumo da população, de forma a analisar a utilização dos recursos e quais riscos temos adiante, principalmente em relação à preservação do meio ambiente. Com isso, Martine e Alves (2015) afirmam que “O tripé da sustentabilidade – econômico, social e ambiental – que foi o mote da Rio+20 passou a ser um trilema, ou seja, está cada vez mais difícil conciliar crescimento econômico, bem-estar social e sustentabilidade ambiental. Aliás, está aumentando a cisão ou ruptura entre os polos desse trilema.”

Azevedo *et al.* (2016) afirmam que o desenvolvimento da sociedade tem uma relação direta com a produção e o uso de energia. A energia elétrica se tornou um bem indispensável, principalmente devido aos avanços tecnológicos, na vida das pessoas ao redor do mundo. Com o crescimento da demanda por energia elétrica, por muito tempo essa necessidade vem sendo suprida quase que exclusivamente de combustíveis fósseis, agredindo o meio ambiente (FÉLIX, 2017).

A dependência de combustíveis fósseis como fonte de geração de energia vem desde a Primeira Revolução Industrial, no século XVIII, com a utilização do carvão pelo seu alto poder calorífico (VASCONCELOS, 2013), até o início do século XX, quando o petróleo veio a ser utilizado amplamente pela humanidade, não só como fonte de energia. Entretanto, a crise do petróleo na década de 1970, quando houve recessão devido à alta demanda e dependência de países e ao aumento do preço dos barris, se tornou um marco para que a

sociedade passasse a buscar outras fontes geradoras de energia elétrica (MAIA, 2017). Nesse contexto, as fontes renováveis de produção de energia passaram a ganhar bastante destaque a fim de diversificar a matriz energética dos países, na época dependentes do uso do petróleo.

As energias renováveis são aquelas provenientes de recursos ditos renováveis na natureza, como por exemplo a força das marés, dos ventos, a incidência solar e a biomassa. A energia eólica, proveniente dos ventos, foi uma das que obteve maior destaque nos últimos anos devido à maturidade no desenvolvimento da tecnologia (AZEVEDO *et al.*, 2016), associada aos baixos custos operacionais e pouco uso de espaço de terra (MAIA, 2017).

O Brasil vem ganhando enfoque como produtor de energia eólica devido ao seu alto potencial, estimado em 143,5 GW por Amarante *et al.* (2001), e sua competitividade na indústria (GANNOUM, 2015). A região nordeste, em especial, tem sido atrativa para este tipo de empreendimento devido a velocidades mais intensas do vento na sua extensão litorânea, com destaque para os estados do Rio Grande do Norte, Bahia e Ceará (FÉLIX, 2017). Desse modo, a energia eólica no Ceará já se apresenta expressiva na matriz energética do estado, com o destaque para o município de Trairi, que ganha visibilidade com a grande concentração de empreendimentos.

Entretanto, mesmo se tratando de uma fonte que possui impactos bastante reduzidos quando comparados, por exemplo, com o uso de combustíveis fósseis, principalmente ao se tratar de contribuição ao aquecimento global, a mesma não é isenta de aspectos negativos em sua utilização e pode trazer controvérsias em sua implantação (FARIAS *et al.*, 2020). Azevedo *et al.* (2016) afirma que “A má compreensão desses impactos ambientais é uma preocupação séria para a indústria de energia eólica, especialmente nos países em desenvolvimento e regiões ecologicamente vulneráveis”. Em sua época, Lima (1997) já trazia a preocupação:

O abundante estoque de recursos naturais disponível, nos primórdios da revolução industrial, e a larga capacidade de absorver e reciclar os resíduos da produção, afastava qualquer possibilidade de crise. Por outro lado, o ritmo e o volume da produção mundial, o tamanho da população e seu estilo de vida e consumo não representava um problema a ser considerado. As críticas de hoje, por sua vez, surgem num contexto onde os problemas já são evidentes, modificam a qualidade de vida de milhões de pessoas, assumem uma escala planetária e permitem antever situações de alta gravidade e irreversibilidade a longo prazo, caso não se tomem providências efetivas.

Desse modo, faz-se necessário levantar os aspectos relacionados à construção e operação de parques eólicos no intuito de minimizar os efeitos gerados ao meio ambiente ao qual está inserido. Por este motivo, este trabalho visa analisar e avaliar os impactos ambientais gerados por parques eólicos localizados no litoral do estado do Ceará no município de Trairi, a fim de trazer visibilidade a esses efeitos e também soluções utilizadas para mitigar essas implicações na região e em seus ecossistemas.

O restante desta monografia está organizado como segue: o capítulo 2 apresenta a justificativa e motivação para o estudo; no capítulo 3 é mencionado quais objetivos busca-se alcançar nesta tese; o capítulo 4 traz o contexto da energia eólica desde seu início até a atualidade, além dos impactos ambientais gerados e legislações relativas a esse tipo de energia; os métodos utilizados para a pesquisa são expostos no capítulo 5; então, o capítulo 6 demonstra os resultados do estudo dos impactos ambientais de empreendimentos eólicos e discussão sobre o tema; assim, concluindo no capítulo 7.

2 JUSTIFICATIVA

O crescimento acelerado e a globalização são de grande valia para o desenvolvimento da sociedade, entretanto, Brown (2013 *apud* CUNHA *et al.*, 2019) afirma que, devido esse crescimento, agora a sociedade está fora de sintonia com o ecossistema que pertence. Dessa forma, a cadeia de diversos setores vem sendo repensada de forma a reduzir as consequências negativas das atividades antrópicas. É neste cenário que surge a necessidade de utilização de tecnologias “limpas”, buscando eficiência de produção com maior preservação ambiental (FARIAS *et al.*, 2020). De acordo com a Global Wind Energy Council (2021),

Embora chegar a zero emissões de carbono exija ações ousadas de um grande número de setores e atores, a energia eólica é colocada para ser um dos pilares da recuperação verde e desempenhar um papel importante na aceleração da transição energética global. (Tradução livre)

A energia eólica destaca-se como energia renovável na atualidade por ser capaz de abastecer grandes cidades devido sua alta geração com pouco uso de terra. Além disso, ela se mostra como bastante eficaz e de baixíssimos níveis de impacto ambiental. Entretanto, é importante se ter em mente que, apesar de esta fonte ser considerada "limpa" devido à não

utilização de materiais de origem fóssil, nenhuma fonte de produção de energia é totalmente isenta de consequências negativas ao meio ambiente a qual está inserida. Assim, a energia eólica também apresenta efeitos ao local em que é instalada, como alteração na fauna e flora, emissão de ruídos e impacto visual na paisagem.

O Brasil e, em especial, a região nordeste, vem tendo grande destaque pelo seu potencial eólico e condições favoráveis, principalmente em áreas litorâneas. No entanto, as zonas costeiras, em específico do Ceará, são áreas de grande importância, tanto cultural como econômica, e possuem áreas com papel essencial para a manutenção do equilíbrio ambiental. Desse modo, os impactos ocasionados pelos empreendimentos eólicos sobre estas áreas não devem ser ignorados ou subestimados, pois podem trazer consequências permanentes para a região e seus arredores.

Neste cenário, é importante destacar a definição de Lopez (2002 *apud* CUNHA *et al.*, 2019) para desenvolvimento sustentável, afirmando que é necessário atender as necessidades atuais sem comprometer este atendimento para as futuras gerações. Com este contexto, salienta-se a importância de analisar para o município de Trairi, no litoral do estado do Ceará, o crescimento da energia eólica e avaliar os impactos ambientais gerados, com suas respectivas intensidades e consequências futuras, propondo ações e métodos de mitigação para buscar reduzir ao máximo estes efeitos.

3 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal a realização de levantamento e avaliação dos impactos ambientais, em especial nos meios físico e biótico, envolvidos na instalação e operação de parques eólicos no litoral do Ceará, em específico no município de Trairi. Também se pretende apontar as metodologias, técnicas e ações recomendadas para mitigar ou eliminar tais impactos.

De maneira específica, buscou-se:

- Apresentar referencial teórico acerca do crescimento da energia eólica no mundo e no Brasil;
- Expor a situação atual do Ceará e do município de Trairi em número de parques eólicos;

- Apontar os impactos ambientais advindos de empreendimentos eólicos e explicar as legislações brasileiras referentes ao setor eólico;
- Levantar e avaliar impactos ambientais de três parques na região do Trairi;
- Exibir e sugerir ações de mitigação dos impactos ambientais.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fim de se entender como está o cenário da energia eólica atualmente no Brasil, faz-se necessário compreender o início da expansão da energia eólica pelo mundo, primeiros projetos e cenário atual do Brasil, trazendo também o desenvolvimento desse tipo de empreendimento no estado do Ceará e, em específico, no município de Trairi. Além disso, serão apresentados os impactos ambientais que estão atrelados aos parques eólicos e legislações aplicadas para análise dos impactos desse tipo de empreendimento.

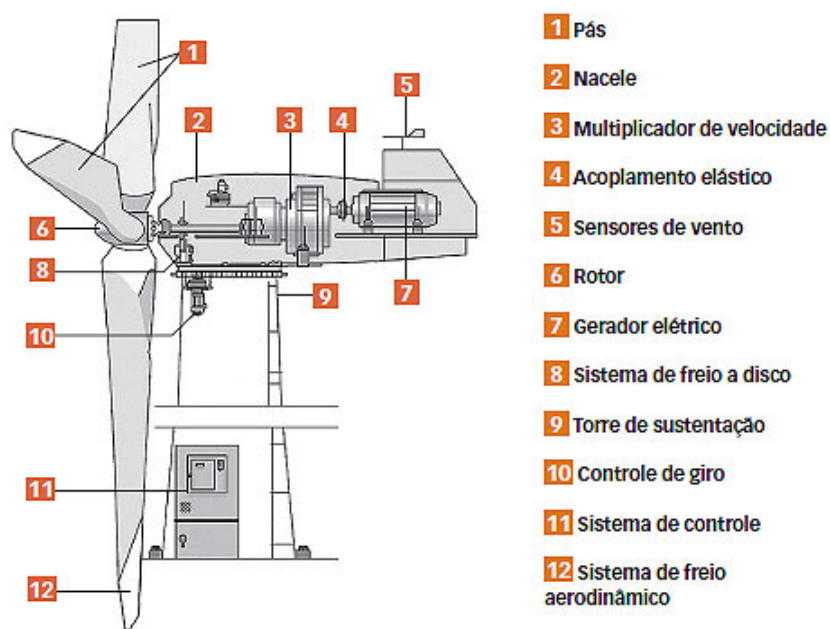
4.1 Histórico da energia eólica

Acredita-se que a utilização dos ventos como forma de gerar algum tipo de energia seja uma técnica milenar, utilizada desde a Idade Média para mover engrenagens de moinhos para irrigação, moagem de grãos e bombeamento de água. Além disso, pode-se destacar o uso da força dos ventos para mover barcos em grandes navegações, impulsionada pelas velas (AMARANTE *et al.*, 2001). Durante o século XIX, nos Estados Unidos, milhares de sistemas movidos a vento foram amplamente utilizados para sistemas de bombeamento de água, o que impulsionou o interesse na utilização dessa energia.

Kaldellis (2011) explica que o desenvolvimento de outros tipos de máquinas movidas pela força dos ventos foram inspiradas em projetos de hélices de avião e asas de monoplano, resultando em máquinas de potência baixa em torno de 12 kW. Entretanto, a aplicação para produção de energia elétrica foi resultante do desenvolvimento de turbinas maiores (30-55 kW) na década de 1980 na Dinamarca, que logo teve muitos incentivos governamentais para desenvolver a tecnologia (MARTINS *et al.*, 2007). Segundo Gnoatto (2017), o crescimento da quantidade de turbinas eólicas instaladas no mundo foi de 150, em 1981, para 16000, em 1985.

Atualmente as turbinas eólicas amplamente utilizadas são do tipo de eixo horizontal. Como mostrado na Figura 1, os aerogeradores têm como componentes principais: torre, pás, rotor e nacele (*gearbox*, gerador, eixos, controladores). A torre tem como função principal dar a sustentação aos outros componentes, porém sua altura também tem interferência na velocidade dos ventos que será captada nas pás, que serão rotacionadas pela sua aerodinâmica (MAIA, 2017). As pás são conectadas ao eixo do rotor e à nacele, onde é localizado o gerador e os principais controladores e sensores da turbina. A energia é obtida pelo processo de conversão de energia mecânica, ocasionada pelo giro das pás do rotor, que é transformada em energia elétrica por meio do gerador (MARTINS *et al.*, 2007).

Figura 1 – Principais componentes de um aerogerador de eixo horizontal.

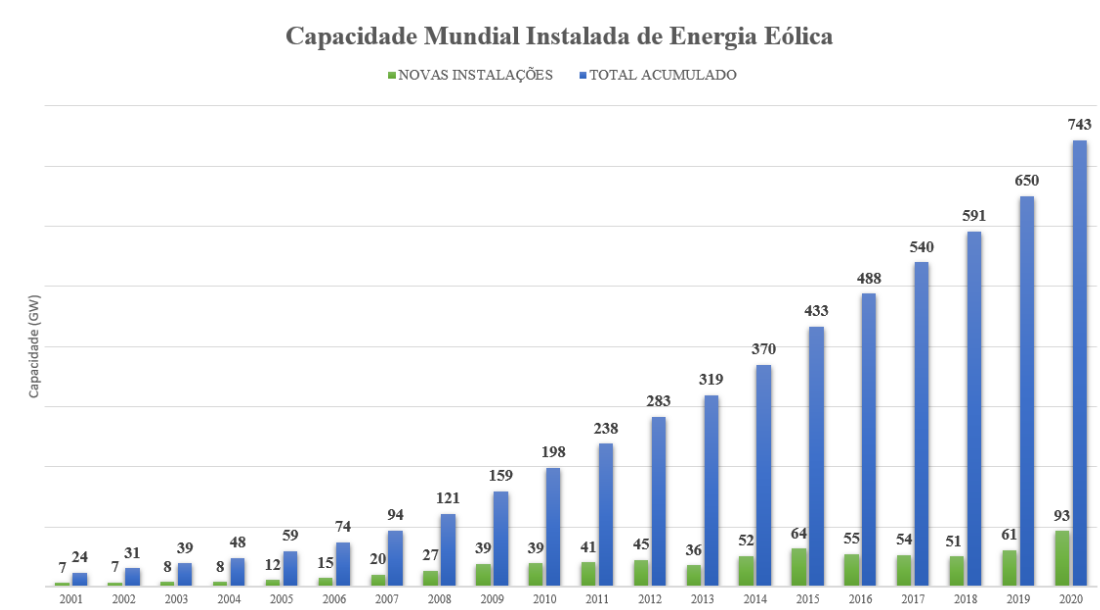


Fonte: ESAB¹ (2016).

Com o avanço da tecnologia dos aerogeradores e expansão de forma global, a capacidade instalada de energia eólica no mundo vem crescendo de forma exponencial (Gráfico 1), totalizando, em 2020, 743 GW instalados, onde 707 GW são *onshore*, instalados em terra, e 35 GW são *offshore*, instalados em corpos d'água. Mesmo com o cenário de pandemia global, devido ao Covid-19, o ano de 2020 teve um crescimento de mais de 90 GW em nova capacidade instalada mundial (Gráfico 1), número 53% maior comparado ao resultado de 2019 (GWEC, 2021).

¹Disponível em: https://www.esab.com.ar/br/pt/news/latest/energia_eolica.cfm. Acesso em: 10 ago. 2021.

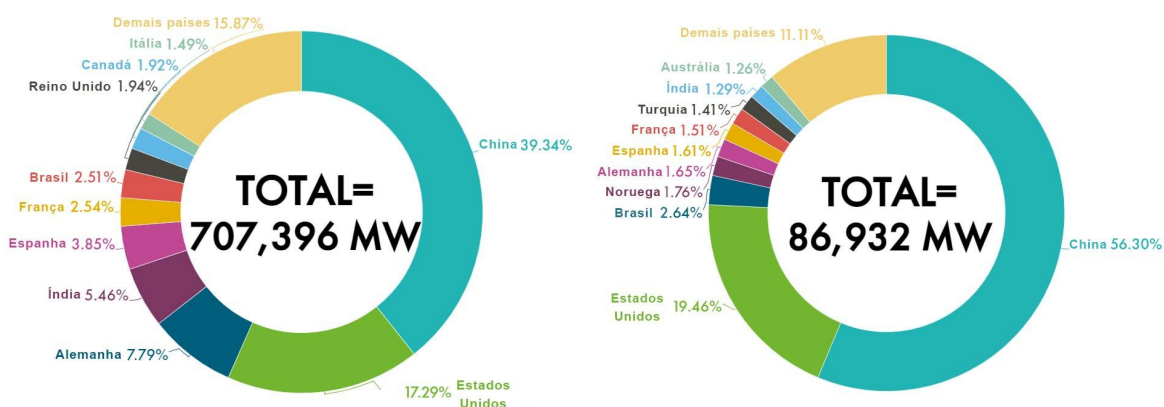
Gráfico 1 – Evolução anual da capacidade de novas instalações e total instalado no mundo de energia eólica.



Fonte: Elaborado pela autora com dados de GWEC (2021).

Em se tratando de capacidade total acumulada *onshore*, os cinco maiores mercados foram China, EUA, Alemanha, Índia e Espanha (Gráfico 2a), enquanto em novas instalações, a liderança permanece com China e EUA, e é seguida pelo Brasil, Holanda e Alemanha (Gráfico 2b) (GWEC, 2021).

Gráfico 2 – (a) Distribuição da capacidade total instalada onshore por país, (b) Distribuição de nova capacidade instalada onshore em 2020 por país.



Fonte: GWEC (2021).

4.2 Energia eólica No Brasil

A energia eólica teve sua entrada no Brasil marcada pela instalação da primeira turbina eólica no município de Fernando de Noronha em 1992. A turbina possui rotor de 17 m de diâmetro e 23 m de altura com uma potência de 75 kW (Figura 2a), resultante de um projeto da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em parceria com a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e financiamento do Folkecenter, um instituto de pesquisa dinamarquês. Já o primeiro parque eólico instalado foi o parque Morro de Carmelinho em 1994 na cidade de Gouveia em Minas Gerais (Figura 2b). Totalizando 1 MW de capacidade instalada, o parque é constituído de 4 aerogeradores de 250 kW com um rotor de 29 m de diâmetro e 30 m de altura e foi instalado por meio de uma parceria da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) com financiamento de um projeto vindo do governo alemão (ANEEL, 2005).

Figura 2 – (a) Primeira turbina eólica instalada no Brasil, em Fernando de Noronha e (b) Usina Morro de Carmelinho em Gouveia (MG).



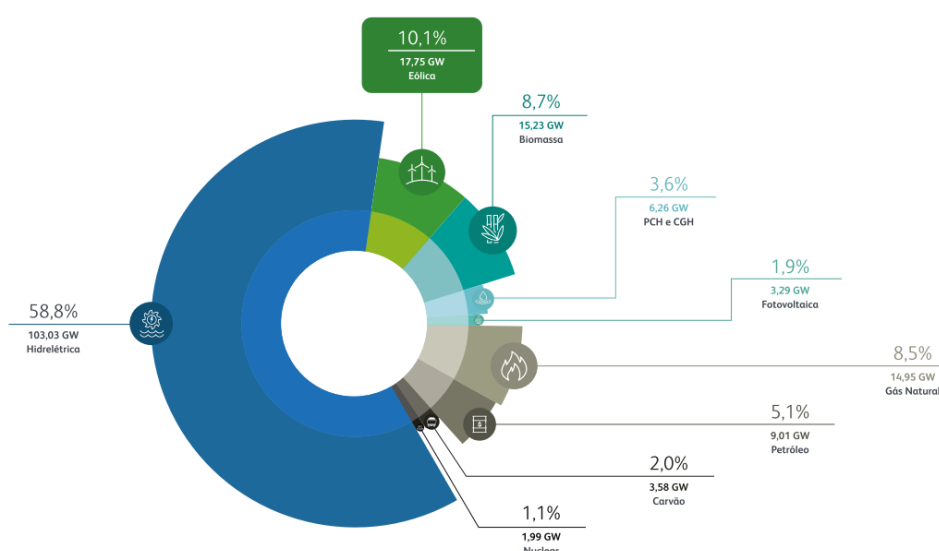
Fonte: ANEEL (2005).

Gannoum (2015) explica que o avanço da energia eólica no Brasil se deu a partir dos programas de incentivo criados no país, iniciados com o Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva Geradora de Energia Eólica (PROEÓLICA) que foi posteriormente substituído pelo PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. O PROINFA, iniciado em 2002, veio com o objetivo principal de diversificar a matriz energética brasileira, propiciando em sua primeira fase a contratação de 3300 MW de capacidade instalada para fontes renováveis, sendo 1423 MW de empreendimentos eólicos. O programa também teve o apoio por meio de financiamentos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES) para viabilizar os projetos, com o destaque ao

índice mínimo de nacionalização de peças e componentes a serem utilizadas nos aerogeradores.

Esses programas, atrelados ao desenvolvimento da tecnologia, passaram a atrair bastante atenção mundial para o Brasil como um pólo para energia eólica, tanto em relação ao estabelecimento de fábricas para componentes eólicos, devido a redução no preço dos insumos ocasionado pelos incentivos do governo, quanto para a instalação de fato de parques eólicos, incentivados pelos ventos fortes e constantes encontrados em diversas regiões do país (GANNOUN, 2015). Desse modo, segundo o GWEC (2021), o Brasil alcançou a 7ª posição no ranking mundial de capacidade total instalada de energia eólica, o que corresponde a 17,75 GW. Assim, dados da ANEEL (2021) confirmam que ao final de 2020 a energia eólica já se mostra em segundo lugar na matriz energética brasileira, correspondendo a 10,1% do total, atrás somente das hidrelétricas (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Matriz elétrica brasileira.



Fonte: ANEEL *apud* ABEEÓLICA (2021).

Segundo dados da ABEEÓLICA (2021), foram instalados no país novos 2,30 GW de energia eólica com a implantação de 66 novos parques em 2020, o que totaliza 17,75 GW distribuídos em 686 usinas espalhadas por 12 estados - número este que já cresceu para 726 parques e 19,1 GW de capacidade total instalada em dados atualizados de 15 de junho de 2021 (ABEEÓLICA, 2021b) e espera-se crescer para mais de 30 GW instalados até o ano de 2024 (Gráfico 4). As novas instalações no ano de 2020 proporcionaram um total de 21,2 milhões de toneladas de emissões de CO₂ evitadas na atmosfera.

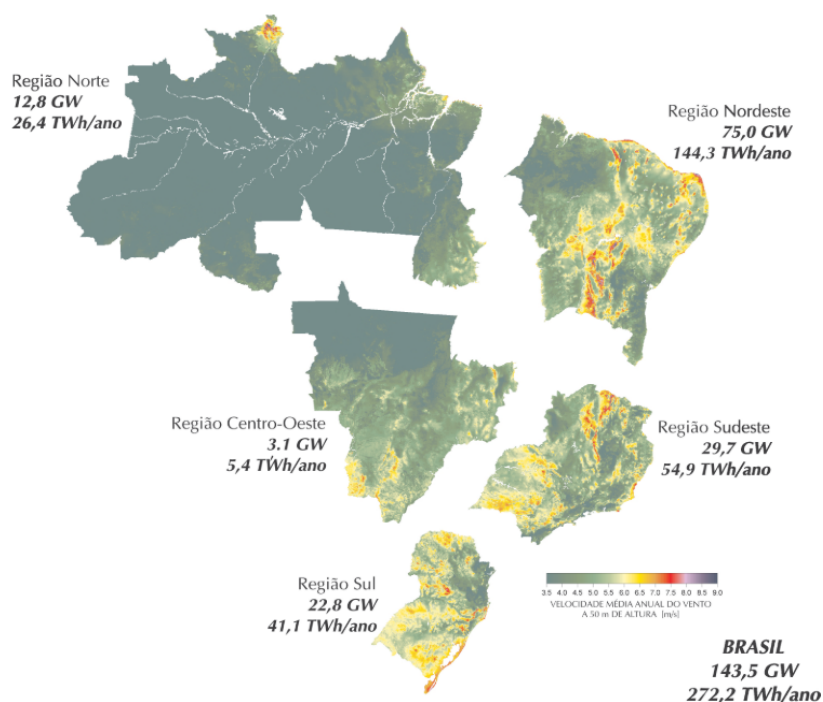
Gráfico 4 – Evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil.



Fonte: ANEEL *apud* ABEEÓLICA (2021b).

A região nordeste tem bastante destaque na produção de energia eólica e representa uma parcela de 80% do total instalado no Brasil, devido aos ventos fortes, constantes e com poucas mudanças de direção em todos os meses do ano, condições ideais para o bom funcionamento dos aerogeradores, representando um total de 75 GW de potencial eólico estimado (Figura 3).


Figura 3 – Potencial eólico estimado no Brasil para vento médio anual igual ou maior que 7 m/s.



Fonte: Amarante *et al.* (2001).

Desse modo, os estados nordestinos ganham destaque tanto em relação a capacidade instalada total quanto em número de parques (Figura 4). Em 2020, a geração de energia por fonte eólica foi liderada pela Bahia, com 16,22 TWh, seguida pelo Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Rio Grande do Sul (ABEEÓLICA, 2021).

Figura 4 – Capacidade instalada e número de parques por estado no Brasil até 15 de junho de 2021.



UF	Potência (MW)	Parques	Aerogeradores
RN	5.574,8	191	2.444
BA	5.267,8	201	2.261
CE	2.385,1	92	1.115
PI	2.354,7	81	1.007
RS	1.835,9	80	830
PE	798,4	34	417
MA	426,0	15	172
SC	238,5	14	173
PB	157,2	15	121
SE	34,5	1	23
RJ	28,1	1	17
PR	2,5	1	5
TT	19.103,4	726	8.585

Fonte: ABEEÓLICA (2021b).

4.3 Ceará como potencial para energia eólica

Segundo Amarante *et al* (2001) os estudos do potencial eólico do estado do Ceará foram iniciados na década de 1990 com a instalação de torres anemométricas em torno de 20 m. Vasconcelos (2013) detalha que o estudo, feito em parceria da Companhia Elétrica do Ceará (COELCE) e a Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), teve duração de dois anos e avaliou o potencial eólico em três pontos: Cofeco/Fortaleza, Jericoacoara/Jijoca e Palmeiras/ Beberibe. Após esses estudos iniciais, instalou-se, em 1996, no Ceará um dos primeiros parques eólicos do Brasil, a Central Eólica Mucuripe. A usina

contava com quatro aerogeradores de 300 kW mas, em 2000, foi desativada para posteriormente ser repotenciada com uma potência total de 2400 kW (ANEEL, 2005).

Em posterior estudo da CHESF para analisar o potencial eólico do Ceará e do Rio Grande do Norte, em 1996, foi concluído por meio de simulações computacionais para turbinas de 500 kW e 600 kW a possibilidade de geração no Ceará de 9,55 TWh/ano ocupando apenas 10% do litoral cearense, que apresenta 640 km de extensão e 543 km² de dunas. Impulsionados pela atratividade gerada por esses estudos, em 1999 foram inauguradas mais duas usinas eólicas no estado, em contrato firmado entre a empresa alemã Wobben-Enercon e o governo do Ceará. A Central Eólica de Taíba, no município de São Gonçalo de Amarante, iniciou sua operação em janeiro de 1999, composta por dez turbinas de 500 kW de rotores de 40 m e torres de 45 m de altura, sendo a primeira usina eólica classificada como Produtor Independente de Energia (PIE). Já a Central Eólica da Prainha, localizada em Aquiraz, foi considerada a maior usina da época com o dobro de capacidade da Central Eólica de Taíba, totalizando 10 MW. (AMARANTES *et al*, 2001; FÉLIX, 2017).

Em dados atualizados de julho de 2021, o Ceará se apresenta em terceiro lugar em capacidade instalada de energia eólica, totalizando aproximadamente 2400 MW com 94 parques em operação, número que aumenta para cerca de 2630 MW com a adição de 9 parques que se encontram em fase de construção. Desse modo, a energia eólica já representa uma parcela de mais de 50% na matriz elétrica do Ceará, de acordo com a Figura 5 (ANEEL, 2021).

Figura 5 – Matriz elétrica do Ceará por origem de combustível em 11 de julho de 2021.

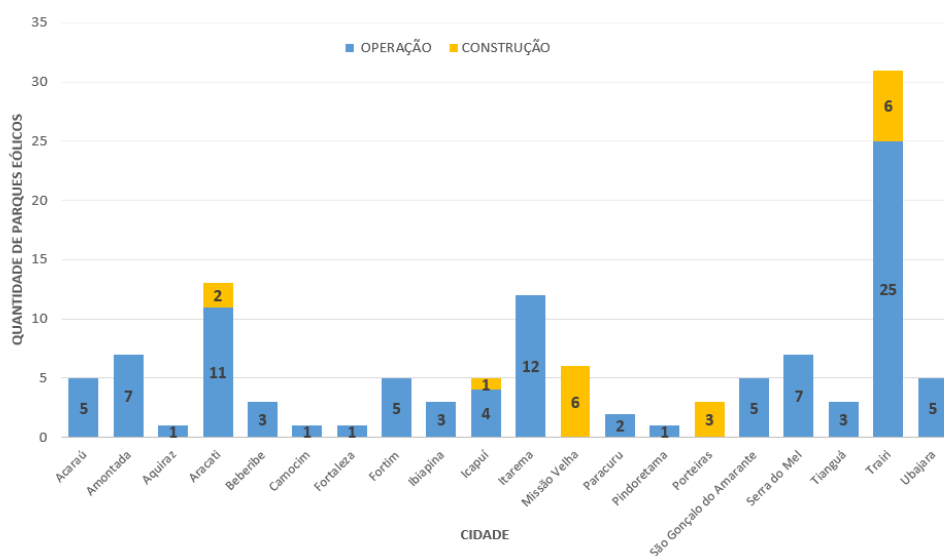
Origem	Tipo	Combustível	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	% Potência Outorgada
Eólica	Cinética do vento	Cinética do vento	94	2.394.640,00	50,17%
Fóssil	Carvão mineral	Carvão Mineral	2	1.085.274,00	22,74%
Fóssil	Gás natural	Gás Natural	6	564.975,00	11,84%
Solar	Radiação solar	Radiação solar	9	218.001,03	4,57%
Fóssil	Carvão mineral	Gás de Alto Forno - CM	1	218.000,00	4,57%
Fóssil	Petróleo	Óleo Combustível	1	168.000,00	3,52%
Fóssil	Petróleo	Óleo Diesel	26	116.909,10	2,45%
Fóssil	Outros Fósseis	Calor de Processo - OF	1	5.650,00	0,12%
Hídrica	Potencial hidráulico	Potencial hidráulico	2	1.263,00	0,03%
Undi-Elétrica	Cinética da água	Cinética da água	1	50,00	0,00%
Total			143	4.772.762,13	100,00%

Fonte: ANEEL (2021).

De acordo com Amarantes *et al* (2001), o Ceará se localiza na Zona Litorânea Norte-Nordeste em termos de regime de ventos, apresentando ventos médios anuais entre 6

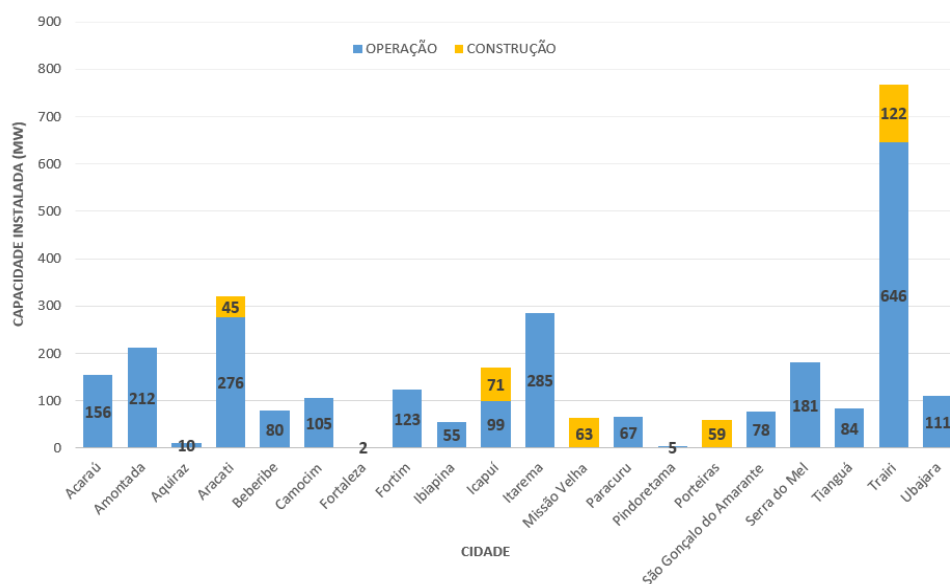
m/s e 9 m/s. Os ventos tendem a aumentar em áreas de menores índices de vegetação e umidade do solo com temperaturas elevadas durante o dia, o que faz das regiões de dunas, no litoral, um local atrativo para a energia eólica. Esse motivo explica o fato da concentração dos parques eólicos do estado ser predominantemente em cidades litorâneas (Gráfico 5 e 6) e frequentemente instalado em regiões de dunas, o que traz bons resultados em relação ao fator de capacidade e conversão do vento em energia. Entretanto, este fator traz alerta para possíveis riscos ambientais resultantes, como a alteração na paisagem e no ecossistema local.

Gráfico 5 – Quantidade de parques eólicos por município no Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora com dados de ANEEL (2021).

Gráfico 6 – Capacidade total instalada em MW de parques eólicos por município no Ceará.

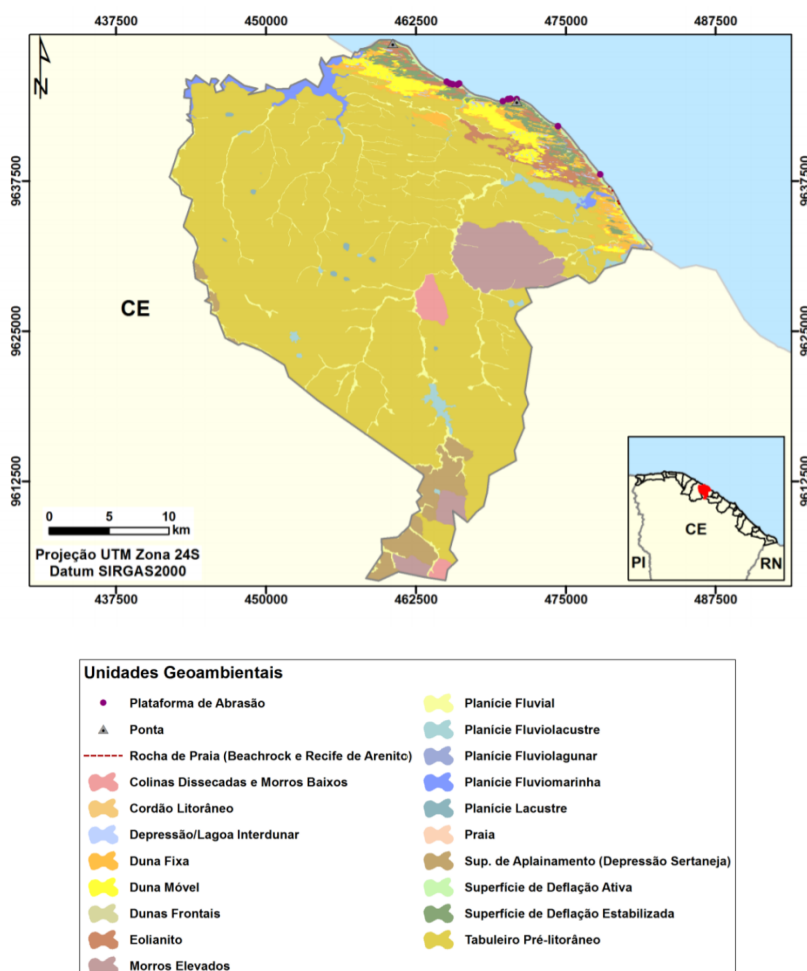


Fonte: Elaborado pela autora com dados de ANEEL (2021).

4.4 Município de Trairi, Ceará

O município de Trairi fica localizado a oeste 127 km da capital cearense, com uma área de 928,73 km² (TRAIRI, 2021). De acordo com o Censo de 2010, Trairi apresentava um total de 51.422 habitantes, número estimado para 56.291 no ano de 2020 (IBGE, 2021). O município apresenta temperaturas médias entre 26°C e 28°C e tem como bioma característico a caatinga, apresentando, predominantemente, o sistema ambiental de tabuleiro pré-litorâneo e também os sistemas de dunas móveis, dunas fixas e eolianitos nas áreas próximas à faixa de praia (Figura 6) onde localizam-se os três vilarejos de maior fluxo turístico e maior densidade de ocupação: Mundaú, Flecheiras e Guajiru (CEARÁ, 2016).

Figura 6 – Mapeamento das unidades geoambientais de Trairi.



Fonte: Ceará (2016).

De acordo com Meireles (2008 *apud* SALES, 2018), ao longo da costa litorânea do Ceará se apresentam condições topográficas favoráveis para instalação e operação dos

parques eólicos, o que vem favorecendo o crescimento do número de empreendimentos nessas regiões, inclusive em áreas de dunas. Dessa forma, Trairi se mostra como o município de maior quantidade de parques instalados e capacidade de geração, totalizando 25 parques em operação com capacidade total de 646 MW com mais 6 parques em fase de construção que somarão mais 122 MW ao total (ANEEL, 2021). O crescimento da procura de Trairi como um pólo de energia eólica fica evidente ao analisarmos o Quadro 1, onde é possível observar a entrada de 8 novos parques no presente ano de 2021. Estes empreendimentos somam um total de 205,8 MW, representando um aumento de 47% no total de potência instalada no município desde o fim de 2020.

Quadro 1 – Detalhamento de empreendimentos eólicos de Trairi.

Empreendimento	Entrada Operação	Potência (MW)
Guajiru	22/nov/13	30,00
Trairi	22/nov/13	25,39
Flexeiras I	28/jan/14	30,00
Embuaca	29/mar/14	27,30
Faixa I	29/mar/14	29,40
Faixa III	29/mar/14	25,20
Faixa IV	29/mar/14	25,20
Mundaú	01/abr/14	30,00
Faixa II	31/jul/14	27,30
Faixa V	30/out/14	29,40
Santo Antônio de Padua	11/nov/14	14,00
São Cristóvão	11/nov/14	26,00
São Jorge	11/nov/14	24,00
Santa Mônica I	11/out/16	18,90
Cacimbas 1	20/dez/16	18,90
Estrela	18/mar/17	29,70
Ouro Verde	06/abr/17	29,70
Serrote I	12/jan/21	25,20
Serrote II	12/jan/21	25,20
Serrote IV	12/jan/21	16,80
Serrote V	27/jan/21	29,40
Serrote VI	27/fev/21	29,40
Serrote VIII	23/mar/21	29,40
Serrote VII	17/mai/21	29,40
Serrote III	19/mai/21	21,00

Fonte: Elaborado pela autora com dados de ANEEL (2021).

No entanto, o crescimento que a região vem tendo com os empreendimentos eólicos levanta uma preocupação ambiental principalmente devido às instalações nas zonas pré-litorâneas e de dunas. De acordo com Casemiro (2017 *apud* OLIVEIRA, 2019), as dunas são responsáveis pela captação de água, manutenção e proteção de aquíferos, além de fazerem parte do ambiente costeiro, mostrando, assim, grande importância para a conservação do equilíbrio ambiental. Além disso, as áreas de dunas fixas são protegidas por lei sendo

definidas como Áreas de Preservação Permanente (APP) devido sua fragilidade ambiental e sua importância à preservação do equilíbrio nesse ambiente.

4.5 Impactos Ambientais da Energia Eólica

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em sua resolução N° 001, de janeiro de 1986, define impacto ambiental como:

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986, p. 636).

Essa definição pode ser reforçada com o item 3.2.4 da norma ISO 14.001 de 2015 afirmando que impactos ambientais são “modificações no meio ambiente, tanto adversa quanto benéfica, total ou parcialmente resultante dos aspectos ambientais de uma organização” (ABNT, 2015).

A utilização dos ventos como fonte de energia por meio dos parques eólicos apresenta diversos benefícios em comparação com outras fontes geradoras de eletricidade. Além de ser uma fonte de baixíssimo teor de poluição e emissão de CO₂ na atmosfera, garante o abastecimento de energia com pouco uso de terra e possibilidade de usos complementares da terra como na agricultura e pecuária, ganhos com arrendamento dos terrenos e investimentos na economia local assim como na capacitação de moradores por meio da geração de emprego nos períodos de instalação e operação (MAIA, 2017).

Entretanto, mesmo que a energia eólica tenha impactos ambientais mínimos, quando comparada com fontes vindas de combustíveis fósseis, a mesma não é isenta de efeitos adversos ao ambiente, principalmente em escala local, nas fases de estudo de campo, instalação e operação dos parques eólicos. Assim, podendo causar efeitos como: danos sob a fauna e a flora local, emissão de ruídos e sombras, impacto visual na paisagem e interferências eletromagnéticas (FARIAS *et al.*, 2020). Dessa forma, faz-se necessário compreender como esta fonte impacta os meios físico e biótico, de modo a proteger o ambiente e encontrar formas de minimizar esses impactos.

4.5.1 Fauna e flora

Dentre as fases de construção de um parque eólico, a fase de instalação é a que apresenta maiores impactos ao local, principalmente à biota. Durante essa fase, é necessária abertura de uma grande área para a instalação do campo de obras para construção das fundações das torres eólicas (Figura 7), além de abertura de vias de acesso e instalação de dutos subterrâneos para passagem de cabeamento elétrico (GORAYEB *et al.*, 2019; FARIAS *et al.*, 2020). Durante a etapa de limpeza do terreno é realizada a supressão vegetal da região, terraplanagem e compactação do solo, processo que, de acordo com Moura-Fé e Pinheiro (2013) se caracterizam como impactos cumulativos e podem levar à modificações irreversíveis à morfologia do local.

Figura 7 – Construção da fundação de parque eólico em Trairi.



Fonte: Diário do Nordeste² (2021).

Esse processo acarreta diversas alterações no solo, o que o deixa totalmente exposto aos ventos e chuvas fortes, podendo causar soterramento de lagoas, drenagem do solo e suscetibilidade à erosão (FARIAS *et al.*, 2020; MAIA, 2017). Além disso, a fragilidade ocasionada na região pode levar à contaminação do solo e do lençol freático devido à infiltração ocasional de resíduos gerados nas obras, como óleos e outros materiais poluentes, mostrando a necessidade de uma boa gestão de resíduos no local das obras (GONG, 2004 *apud* FARIAS *et al.*, 2020; MOURA-FÉ; PINHEIRO, 2013).

²Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/com-investimento-de-quase-r-2-bilhoes-qair-brasil-inaugura-complexo-eolico-no-trairi-1.3082605>. Acesso em: 23 jul. 2021.

De acordo com Meireles (2012 *apud* GORAYEB *et al.*, 2019), esse processo quando realizado em áreas de dunas, o que é bastante comum no litoral cearense, apresenta diversos riscos à região, como crescimento da erosão costeira, alteração na disponibilidade de água doce, extinção do campo de dunas e supressão de habitats, o que levanta uma grande preocupação voltada para a manutenção do equilíbrio deste ecossistema.

Com o processo de retirada da vegetação, é presenciado grande alteração do ecossistema local comprometendo a dinâmica do habitat de diversos animais, que tendem a buscar refúgio por meio da fuga para áreas adjacentes. Dessa forma, aumenta-se bastante o fluxo de diversas espécies em torno da região que foi modificada em busca de um novo habitat, o que acaba gerando um desequilíbrio ambiental por meio do aumento da competição entre espécies. Além disso, esse movimento de escape deixa os animais suscetíveis ao risco de caça, captura e possíveis acidentes, principalmente caso fujam para as estradas com alto fluxo de automóveis e maquinários (MOURA-FÉ; PINHEIRO, 2013).

Um impacto que vem trazendo discussões com o crescimento da energia eólica pelo mundo é em relação à mortalidade de aves e morcegos devido à colisão nas pás dos aerogeradores e também ao perigo de choque elétrico com as instalações de cabeamento e linhas de transmissão. De acordo com Amarantes *et al.* (2001), o desenvolvimento da tecnologia trouxe à tona um aumento do diâmetro do rotor das turbinas eólicas, reduzindo a velocidade de rotação das pás, o que, atrelado ao distanciamento entre aerogeradores, evita o acontecimento de colisão desses animais. Entretanto, Katsaprakakis (2012) realça a importância de analisar o fluxo migratório das aves a fim de realizar estudos antes e durante a operação dos parques para minimizar esse impacto. Carneiro (2014 *apud* FERNANDES; ARRAIS, 2017) afirma a necessidade de mais estudos aprofundados no Brasil em relação a esse impacto de mortalidade de aves e morcegos nos empreendimentos eólicos.

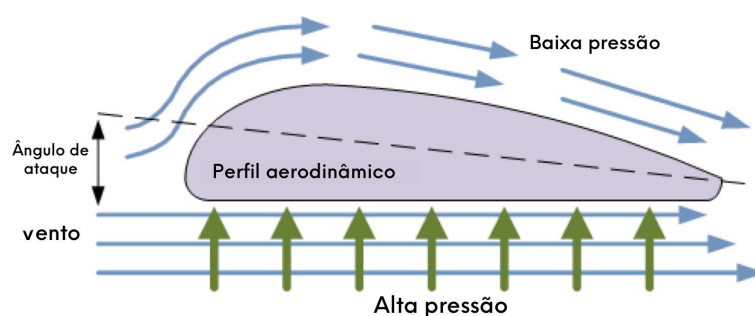
4.5.2 Ruído

Um outro tipo de impacto ambiental apresentado pela energia eólica é a poluição sonora por meio da emissão de ruídos advindos das turbinas, ruído esse que é percebido de formas diferentes de acordo com o distanciamento dos mesmos entre si e até áreas residenciais. Tercio (2015) explica que o ruído advindo dos aerogeradores foi alvo de intensas discussões na década de 1980, podendo ser de origem mecânica ou aerodinâmica.

O ruído mecânico é causado principalmente pelo funcionamento das peças eletromecânicas do aerogerador, em especial pela caixa de engrenagens com o rolamento dos eixos transmitidos ao gerador. Turbinas eólicas mais modernas vêm utilizando de uma melhor tecnologia com geradores elétricos multipolo, o que dispensa o uso de sistema de engrenagens. Deshmukh *et al.* (2018) expõem que o ruído mecânico também vem sendo mitigado por meio de uma proteção na Nacele com materiais de absorção do som e supressão de vibração.

Já o ruído aerodinâmico se mostra como o de maior influência na atualidade, sendo o grande responsável pelo ruído de turbinas modernas. Esse tipo de impacto é emitido com o fluxo de vento incidente sobre as pás da turbina eólica, como mostrado na Figura 8, e tem influência direta com o design aerodinâmico das pás e a velocidade do vento.

Figura 8 – Fluxo de vento ao incidir com a aerodinâmica da pá eólica.



Fonte: Alternative Energy Tutorials³ (2018).

O aumento da tecnologia no projeto do design das pás ao redor do mundo tem sido buscado para redução no nível dos ruídos emitidos juntamente com o aumento da potência da turbina. Deshmukh *et al.* (2018) mostram diversas soluções para mitigar a emissão de ruídos que envolvem o design aerodinâmico das pás, com mudanças no formato da ponta, do perfil aerodinâmico e a utilização de acessórios, como o serrilhado. Katsaprakakis (2012) afirma que esses avanços no projeto das pás eólicas modernas já mostram uma redução de 10% da emissão de ruídos aerodinâmicos em comparação com turbinas do início da década de oitenta.

Apesar do avanço para a redução no nível de ruído emitido pelos aerogeradores, atingindo níveis entre 90 dB e 100 dB, se assimilando a diversas atividades humanas, estudos afirmam que o maior problema é decorrente do caráter pulsante do ruído emitido, em nível

³Disponível em: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/wind-energy/wind-turbine-blade-design.html>. Acesso em: 23 jul. 2021.

constante (PERDERSEN; WAYE, 2006 *apud* AVERSA; MONTAÑO, 2019). Pesquisas iniciais sobre este fenômeno mostram que o distúrbio ocasionado pelo ruído intermitente pode levar à alterações fisiológicas em moradores e trabalhadores da região do parque eólico, podendo resultar em náuseas, tonturas e distúrbios do sono. (GORAYEB *et al.*, 2019).

Além disso, o impacto da emissão de ruídos também pode ser visto na fase de implantação do empreendimento devido à intensa movimentação de equipamentos e maquinário na instalação do campo de obras e preparação do terreno, provocando alterações no contexto natural dos níveis sonoros da região, trazendo um considerável desconforto para a população do entorno (MOURA-FÉ; PINHEIRO, 2013).

4.5.3 Impacto visual

O impacto visual advindo da instalação de parque eólicos em uma localidade é o impacto mais controverso analisado, Terciote (2015) explica que “Muitas pessoas olham a turbina eólica como um símbolo de energia limpa sempre bem-vindo, outras reagem negativamente à nova paisagem”. Katsaprakakis (2012) comenta que

Às vezes, as turbinas eólicas podem ser consideradas como grandes e feias construções que convertem paisagens naturais em áreas industriais, às vezes como máquinas úteis e inteligentes que produzem energia limpa e barata e às vezes como uma das soluções mais promissoras para a limitação da operação das térmicas e nucleares, fato que as torna inestimáveis e insubstituíveis. (Tradução livre do original)

Dessa forma, a discussão acerca da dimensão deste impacto é bastante presente, porém muito subjetiva. As diferentes opiniões e pontos de vista tornam a mensuração dos efeitos adversos uma tarefa bastante complicada. Entretanto, visto a quantidade de torres normalmente instaladas em um local, sua altura e localização, geralmente em ambientes com maior altitude, a existência deste impacto se torna inquestionável (KATSAPRAKAKIS, 2012). Além disso, Pinto *et al.* (2017 *apud* FARIAS, 2020) realça a possibilidade de desvalorização da região e perda de parte da economia local com a instalação de parques eólicos próximos a locais de lazer e veraneio, podendo comprometer atividades de turismo e também acarretar na desvalorização de imóveis. Esse processo é preocupante visto que o

maior atrativo do litoral cearense são as praias e a natureza local, paisagem que pode ser grandemente afetada como mostra a Figura 9 na praia de Mundaú, em Trairi.

Figura 9 – Paisagem atual no distrito de Mundaú em Trairi.



Fonte: Mar Sem Fim⁴ (2015).

Dessa forma, destaca-se a necessidade de uma avaliação detalhada para a escolha do local de instalação dos parques eólicos. Katsaprakakis (2012) cita como aspectos a serem avaliados o detalhamento da região almejada, a estética da natureza do local e a existência de áreas preservadas e sítios arqueológicos, juntamente à análise de quantidade e tamanho dos aerogeradores. Gorayeb *et al.* (2019) traz à tona a importância de planejamentos municipais para adequação da instalação das turbinas de forma a minimizar os impactos na paisagem.

Outro tipo de impacto visual que é causado é o sombreamento periódico das pás da turbina quando há incidência solar. Conhecido como *shadow flicker*, esse fenômeno acontece pela oscilação das pás que geram sombras móveis na paisagem, podendo impactar em áreas residenciais (KATSAPRAKAKIS, 2012). De acordo com CEC (2018), este efeito pode trazer bastante incômodo para moradores das proximidades, o que pode piorar, de acordo com Katsaprakakis (2012) dependendo da frequência de oscilação das pás da turbina.

4.5.4 Interferência eletromagnética

⁴ Disponível em: <https://marsemfim.com.br/brasil-litoral-e-energia-eolica/>. Acesso em: 24 jul. 2021.

Outro impacto que pode ser percebido principalmente a nível local da região onde estão os parques eólicos é a interferência eletromagnética (IEM) em sistemas de telecomunicação, causada pela produção de campos eletromagnéticos pelas turbinas (MAIA, 2017). Terciote (2015) explica esse efeito:

Turbinas eólicas podem causar IEM por reflexão de sinais das pás de modo que um receptor próximo recebe um sinal direto e um refletido. A interferência ocorre porque o sinal refletido é atrasado devido à diferença entre o comprimento das ondas alterado por causa do movimento das pás.

Esse fenômeno pode ser perceptível pela população aos arredores com a redução da qualidade de transmissão de rádios e televisores e também no sinal de internet e celular, mas também pode causar danos em sistemas de comunicação civis, militares e navais assim como em sistemas de controle de tráfego aéreo (SALINO, 2011 *apud* FARIAS *et al.*, 2020).

Katsaprakakis (2012) afirma que esse fenômeno era muito comum em pás eólicas de gerações mais antigas, que possuíam componentes metálicos que são bastante refletores desses sinais. Atualmente, as pás mais modernas são compostas de materiais sintéticos, utilizando, em muitos projetos, a fibra de vidro reforçada com resina epóxi, que se mostra parcialmente transparente às ondas eletromagnéticas e, assim, reduz consideravelmente o efeito de IEM (McGOWAN *et al.*, 2000 *apud* TERCIOTE, 2015).

4.6 Legislações para Estudos de Impacto Ambiental

Diante do exposto sobre os impactos adversos ao meio ambiente que podem ser causados no processo de instalação e operação de um parque eólico, vê-se a importância da implementação de mecanismos que colaborem para o controle dos efeitos advindos desses empreendimentos e proteção do ambiente, assim como da população que vive nela, para a atualidade e próximas gerações. Dessa forma, tem-se o processo de licenciamento ambiental como um dos principais instrumentos para atingir este objetivo, por meio de políticas e legislações ambientais.

De acordo com Oliveira (2014), o processo de licenciamento ambiental é uma ferramenta de gestão ambiental que tem como objetivo principal buscar o desenvolvimento socioeconômico com sustentabilidade. A resolução 01/1986 do CONAMA trouxe enfoque a

esse processo por meio do estabelecimento de critérios e diretrizes para avaliação de impactos ambientais em empreendimentos, incluindo usinas de geração de eletricidade com potência acima de 10MW (BRASIL, 1986). Desse modo, a resolução trouxe o detalhamento dessa avaliação por meio do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que devem apresentar características do projeto, peculiaridades da região a ser direta ou indiretamente afetada, alternativas tecnológicas e locacionais, além de planos e projetos governamentais de mitigação. O Art. 9º da resolução detalha que o RIMA deverá conter:

I - Os objetivos e justificativas do projeto, sua relação e compatibilidade com as políticas setoriais, planos e programas governamentais; II - A descrição do projeto e suas alternativas tecnológicas e locacionais, especificando para cada um deles, nas fases de construção e operação a área de influência, as matérias primas, e mão-de-obra, as fontes de energia, os processos e técnicas operacionais, os prováveis efluentes, emissões, resíduos e perdas de energia, os empregos diretos e indiretos a serem gerados; III - A síntese dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental da área de influência do projeto; IV - A descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando o projeto, suas alternativas, os horizontes de tempo de incidência dos impactos e indicando os métodos, técnicas e critérios adotados para sua identificação, quantificação e interpretação; V - A caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência, comparando as diferentes situações da adoção do projeto e suas alternativas, bem como com a hipótese de sua não realização; VI - A descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras previstas em relação aos impactos negativos, mencionando aqueles que não puderem ser evitados, e o grau de alteração esperado; VII - O programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos; VIII - Recomendação quanto à alternativa mais favorável (conclusões e comentários de ordem geral).

Posteriormente em 1997, foi publicada a resolução do CONAMA 237/1997 de forma a complementar a resolução 01/1986 trazendo mais detalhes necessários ao processo de licenciamento ambiental. Assim, foi definido que cabe à competência dos órgãos ambientais municipais a expedição do licenciamento, que se divide nas fases: Licença Prévia, que é emitida na fase preliminar do projeto e estabelece requisitos básicos a serem analisados; Licença de Instalação, que autoriza a instalação do empreendimento seguindo as premissas acordadas e medidas de controle; e a Licença de Operação, que, com o cumprimento dos requisitos estabelecidos, permite a operação do projeto (BRASIL, 1997). Desse modo, para empreendimentos eólicos, faz-se necessária a realização do estudo ambiental e respectivo RIMA no processo do licenciamento que antecede à obtenção da licença prévia do empreendimento, podendo este também requerer alterações no projeto devido aos impactos apontados no relatório.

A resolução 237/1997 já trazia como possibilidade a realização de um processo de licenciamento simplificado, com a emissão de RAS, para empreendimentos que fossem considerados de pequeno potencial ambiental (Art. 12º, § 1º) e, quase quatro anos depois, devido a crise energética que o País enfrentou, houve uma nova resolução que detalha o processo simplificado.

Popularmente conhecido como “apagão”, o Brasil enfrentou a maior crise energética no ano de 2001 devido a falta de infraestrutura e planejamento da matriz de energia, impulsionando a criação da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, com o objetivo de propor ações emergenciais de forma a aumentar a demanda ofertada (GORAYEB *et al.*, 2019). Dessa forma, a Resolução CONAMA nº 279 foi publicada em 27 de junho de 2001, e foi designada com o fito de estabelecer o procedimento simplificado para o licenciamento ambiental, com prazo de 60 dias, de projetos de energia elétrica que apresentem impacto ambiental de pequeno porte, incluindo “IV - Usinas Eólicas e outras fontes alternativas de energia” (BRASIL, 2001).

Apesar dessa medida ter sido necessária, visto a crise na demanda de energia elétrica, os empreendimentos eólicos não são isentos de impactos adversos ao meio ambiente. Esses tipos de projetos tiveram enquadramento como de pequeno impacto ambiental pelo caráter “limpo” que a energia eólica apresenta frente a outras fontes produtoras que mostram altos níveis de poluição com emissão de CO₂ na atmosfera, trazendo consequências graves ao clima. Entretanto, a energia eólica demonstra uma série de efeitos negativos principalmente para a região onde está instalada, sendo visível no meio físico e biológico nos ecossistemas do local.

Além disso, foi publicada em 28 de março de 2006 a Resolução CONAMA 369/2006 que estabelece casos excepcionais de empreendimentos que podem ter autorização para intervenção ou supressão vegetal em áreas de APP. Dentro dessas exceções, define-se na alínea b do inciso I, do art. 2º o caso para obras essenciais de infraestrutura de energia, o que inclui a produção de energia eólica. Para isto, o art. 3º traz como requisito para esta autorização que não haja alternativas técnicas e locacionais para o projeto (BRASIL, 2006).

Diante do exposto, a energia eólica recebeu uma legislação acerca de licenciamento ambiental voltada somente para este setor. Assim, foi publicada em 24 de julho de 2014 a Resolução CONAMA nº 462 que traz os requisitos do processo de forma mais detalhada para empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em

superfície terrestre. O documento trouxe uma melhora em relação à resolução 279/2001 acerca da realização do processo simplificado, restringindo esse caminho no Art. 3º, § 3º e exigindo o EIA/RIMA para algumas situações, como empreendimentos localizados em formações dunares, planícies fluviais e de deflação, mangues e demais áreas úmidas, Zonas Costeiras que possam ter alterações nas suas características naturais e em áreas que possam interferir na vida de aves migratórias.

Além disso, a resolução 462/2014 trouxe no Anexo I o detalhamento das especificações e referências para realização dos estudos ambientais em novos empreendimentos eólicos (BRASIL, 2014). Dessa forma, o documento detalha todas as exigências no estudo e demanda que no EIA/RIMA de empreendimentos eólicos de significativo potencial ambiental contenham os seguintes tópicos:

- Informações gerais;
- Caracterização do empreendimento;
- Estudos de alternativas tecnológicas construtivas e de localização;
- Planos, Programas e Projetos Avaliar;
- Diagnósticos Ambiental;
- Análise Integrada;
- Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais;
- Prognóstico Ambiental;
- Medidas Mitigadoras e Programas Ambientais;
- Compensação Ambiental;
- Conclusão e Referência bibliográfica.

Essa proposta de referência para a elaboração dos documentos de estudo ambiental traz diversos benefícios para o processo pois busca mais clareza e padronização, facilitando a análise crítica dos empreendimentos e reduzindo a subestimação de impactos advindos destes. Com o mesmo intuito, foi trazido também no Anexo I da resolução 462/2014 o estabelecimento de critérios para a identificação e avaliação dos impactos ambientais, com os critérios e parâmetros apresentados no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Critérios e parâmetros para identificação e avaliação de impactos ambientais para empreendimentos eólicos.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	PARÂMETRO
NATUREZA	Característica quanto ao seu resultado para fatores ambientais	Positivo / Negativo
IMPORTÂNCIA	Característica do impacto no ambiente a ser atingido	Baixa / Média / Alta
MAGNITUDE	Relacionado ao porte ou grandeza da intervenção ao ambiente	Baixa / Média / Alta
DURAÇÃO	Temporalidade do impacto no ambiente	Temporário / Permanente
REVERSIBILIDADE	Capacidade do ambiente de retornar ou não à sua condição original	Reversível / Irreversível
TEMPORALIDADE	Espaço de tempo para retorno à condição original	Curto / Médio / Longo Prazo
ABRANGÊNCIA	Extensão da ocorrência do impacto	Direta / Indireta
PROBABILIDADE	Possibilidade e frequência da ocorrência do impacto	Baixa / Média / Alta

Fonte: Elaborado pela autora com dados de BRASIL (2014).

5 METODOLOGIA

Este trabalho utilizou de método de pesquisa quanti-qualitativa de caráter exploratório, utilizando análises de dados estatísticos e também informações e atributos descritivos dos parques que são objeto deste estudo, buscando levantar hipóteses sobre uma problemática.

O estudo foi orientado por diversas fontes de pesquisa documental, incluindo mapas cartográficos, fotografias e imagens de satélite, relatórios e estudos de impacto ambiental (EIA/RIMA), legislação federal e resoluções de órgãos ambientais, além de vasta literatura científica multidisciplinar, onde se encontram os fundamentos de diversos questionamentos acerca dos efeitos da exploração em grande escala da energia eólica sobre os ecossistemas praieros.

O plano de atividades deste trabalho se inicia com a definição do recorte geográfico da pesquisa com base na quantidade de parques eólicos instalados e na probabilidade de cumulatividade dos efeitos em áreas de importância cultural, econômica e turística no litoral cearense, combinados à presença de ecossistemas sensíveis. Após um levantamento da potência instalada das centrais eólicas na região de interesse, é feita uma análise da inserção destes empreendimentos em zonas de grande importância ecológica.

Em seguida, a fim de avaliar as consequências decorrentes da ação dos empreendimentos eólicos, observa-se o detalhamento de impactos ambientais contidos nos documentos de EIA/RIMA realizados nas etapas de licenciamento ambiental para instalação e operação dos projetos.

A partir dos estudos ambientais descritos acima, e levando também em consideração os respectivos relatórios e estudos de impacto ambiental da amostra analisada, é apresentada uma análise crítica aos resultados de identificação e avaliação dos impactos ambientais. Além disso, a fim de identificar possíveis impactos não apontados pelos documentos oficiais, apresentam-se ainda dados da literatura científica que apontam críticas e pontos relevantes para a mensuração das adversidades observadas.

Por fim, uma importante contribuição deste estudo é a proposição de um conjunto atualizado e eficiente de ações e boas práticas com potencial para mitigar ou evitar os diversos impactos ambientais observados nos parques eólicos investigados. Apresenta-se de forma original neste trabalho um quadro técnico que correlaciona impactos ambientais, suas causas e consequências, bem como orienta as respectivas ações de mitigação.

De forma resumida, a pesquisa utilizou como metodologia a sequência de etapas descritas abaixo:

1. Definição do recorte geográfico;
2. Análise dos empreendimentos da região e sua inserção nos ecossistemas locais;
3. Identificação dos impactos ambientais descritos nos EIA/RIMA;
4. Análise crítica dos impactos ambientais no recorte geográfico do estudo;
5. Descrição das ações e práticas de mitigação dos impactos identificados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma amostra de parques eólicos será selecionada a fim de analisar os efeitos dos impactos adversos sofridos por uma região selecionada do município de Trairi. Desse modo, em seguida serão mostradas sugestões de ações mitigadoras no processo de instalação e operação dos parques eólicos a fim de minimizar as consequências negativas refletidas no ambiente por esse tipo de empreendimento.

6.1 Parques eólicos situados no Trairi

A fim de delimitar a área a ser estudada, foram selecionados três empreendimentos localizados no litoral do município de Trairi: Central Eólica Trairi, Usina Eólio-Elétrica UEE Embuaca e Central Eólica Cacimbas. A escolha destes três empreendimentos como foco desta pesquisa se deu buscando dar enfoque a região litorânea da faixa que abrange os distritos de Embuaca e Flecheiras, como visto na Figura 10, e, assim, analisar os efeitos advindos dos empreendimentos nessa localidade de forma cumulativa, devido à proximidade entre eles - cerca de 6km entre a UEE Embuaca e a Central Eólica Cacimbas - e também por se tratar de uma região que abrange áreas ambientalmente sensíveis, como a área de dunas.

Figura 10 – Delimitação dos parques eólicos a serem estudados.



Fonte: Adaptado pela autora com imagem de Google Maps⁵ (2021).

6.1.1 Central Eólica Trairi

⁵ Disponível em: <https://www.google.com/maps/@-3.2268644,-39.3001461,7185m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 07 ago. 2021.

Localizada no distrito de Flecheiras, no município de Trairi, a Central Eólica Trairi tem projeto que constitui em 11 aerogeradores com capacidade instalada total de 25,4 MW em uma área de 37,99 hectares (ha). De acordo com o Relatório de Impacto Ambiental do parque, realizado em 2011 pela empresa Ambiental Consultoria & Projetos LTDA., os aerogeradores do projeto são da empresa *Siemens* com potência nominal de 2,3 MW e possuem rotor de diâmetro 101 m com torres de 80 m (Ambiental Consultoria & Projetos LTDA., 2011).

A Central Eólica Trairi é uma usina que faz parte do projeto do Complexo Trairi, que foi iniciado em 2007 e obteve licença prévia em 2008. O complexo inicialmente previa a instalação de 7 parques que somariam um total de 60 aerogeradores e capacidade instalada de 150 MW em uma área de 547,15 ha, porém com o avanço dos estudos ambientais e de engenharia o projeto sofreu alterações e teve configuração final alterada para 4 parques que totalizam 50 turbinas com capacidade total de 115,4 MW em uma área equivalente a 371,63 ha (Quadro 3).

Quadro 3 – Configuração do Complexo Trairi na fase de licença prévia e projeto final.

Parque Eólico	Licença Prévia (2008)			Configuração Final (2011)		
	Potência (MW)	Nº Aerogeradores	Área (ha)	Potência (MW)	Nº Aerogeradores	Área (ha)
Central Eólica Mundaú	30,0	12	201,00	30,0	13	183,64
Central Eólica Flexeiras I	17,5	7	25,10	30,0	13	74,04
Central Eólica Guajiru	30,0	12	200,00	30,0	13	75,59
Central Eólica Trairi	17,5	7	21,84	25,4	11	37,99
Central Eólica Trairi I	17,5	7	21,85	-	-	-
Central Eólica Trairi II	17,5	7	41,36	-	-	-
Central Eólica Trairi III	20,0	8	36,00	-	-	-
TOTAL	150,0	60	547,2	115,4	50	371,3

Fonte: Elaborado pela autora com dados de Ambiental Consultoria & Projetos LTDA. (2011).

Dentre essas alterações, a mais expressiva foi relativa à Central Eólica Trairi, que inicialmente se referia a 4 parques distintos somando uma capacidade instalada de 72,5 MW com 29 aerogeradores e área de 120,57 ha e, após estudos de viabilidade e impactos socioambientais na região, teve redução para as características citadas anteriormente (Figura 11).

Figura 11 – Alterações no projeto da Central Eólica Trairi da fase de licenciamento prévio em 2008, à esquerda, a concepção final em 2011, à direita.



Fonte: Ambiental Consultoria & Projetos LTDA. (2011).

Além dos 11 aerogeradores, o projeto também inclui como estrutura estradas de acesso às turbinas, cabeamento elétrico e de controle, subestação de saída, centro de controle e área de guarita e almoxarifado. O processo foi dividido nas fases de Pré-Implantação, para realização de estudos e revisões necessárias do projeto inicial, Implantação, para construção e implantação dos equipamentos, e Operação, com o pleno funcionamento do empreendimento. De acordo com a ANEEL (2021) o empreendimento (Figura 12) está em operação desde novembro de 2013.

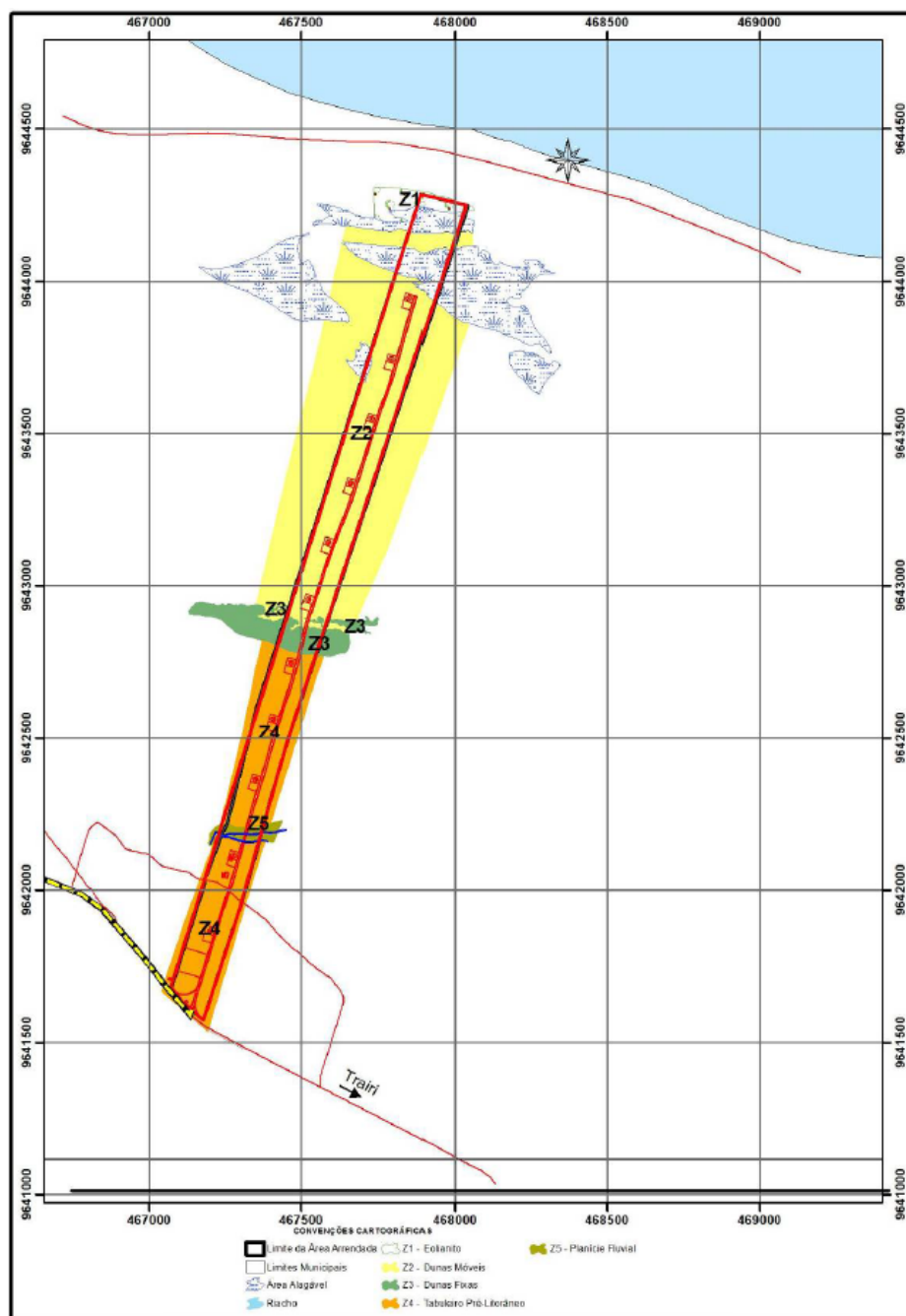
Figura 12 – Central Eólica Trairi.



Fonte: Patrícia Sales Stadler (2021).

Com a configuração final do empreendimento, o projeto teve a ampliação em direção sul da propriedade, ocupando uma área que abrange, principalmente, zonas de dunas móveis e tabuleiros pré-litorâneos assim como dunas fixas, eolianito e planícies fluviais além de áreas alagáveis. A Figura 13 mostra a definição do zoneamento na área do empreendimento, onde pode-se perceber que 6 aerogeradores estão localizados sobre área de dunas móveis que, mesmo sendo enquadrada como Área de Preservação Permanente (APP) tem-se a autorização para a instalação neste local devido à Resolução CONAMA 369/2006.

Figura 13 – Zoneamento ambiental do empreendimento da Central Eólica Trairi.

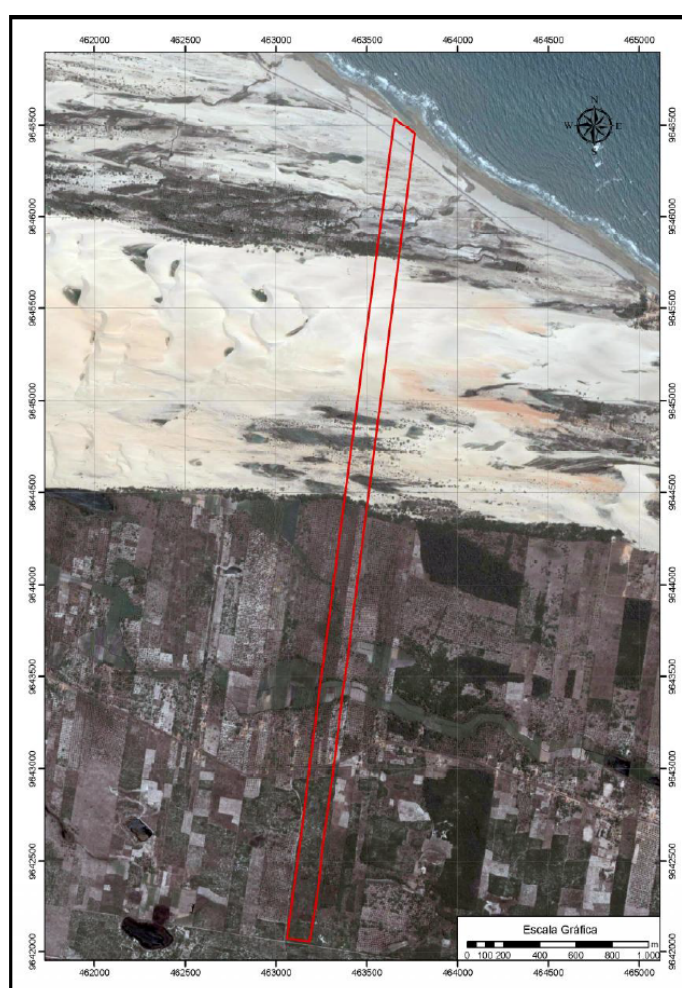


Fonte: Ambiental Consultoria & Projetos LTDA. (2011).

6.1.2 Usina Eólio-Elétrica - UEE Embuaca

O segundo empreendimento a ser estudado como amostra desta pesquisa é a Usina Eólio-Elétrica - UEE Embuaca, projeto na localidade de Emboaca, a pouco mais de 4 km da Central Eólica Trairi. Composto por 13 aerogeradores da fabricante *Suzlon*, com máquinas de diâmetro do rotor de 88 m e altura da torre de 80 m, o projeto totaliza capacidade instalada de 27,3 MW numa área de 64,45 ha (Figura 14).

Figura 14 – Área de implantação do projeto UEE Embuaca.

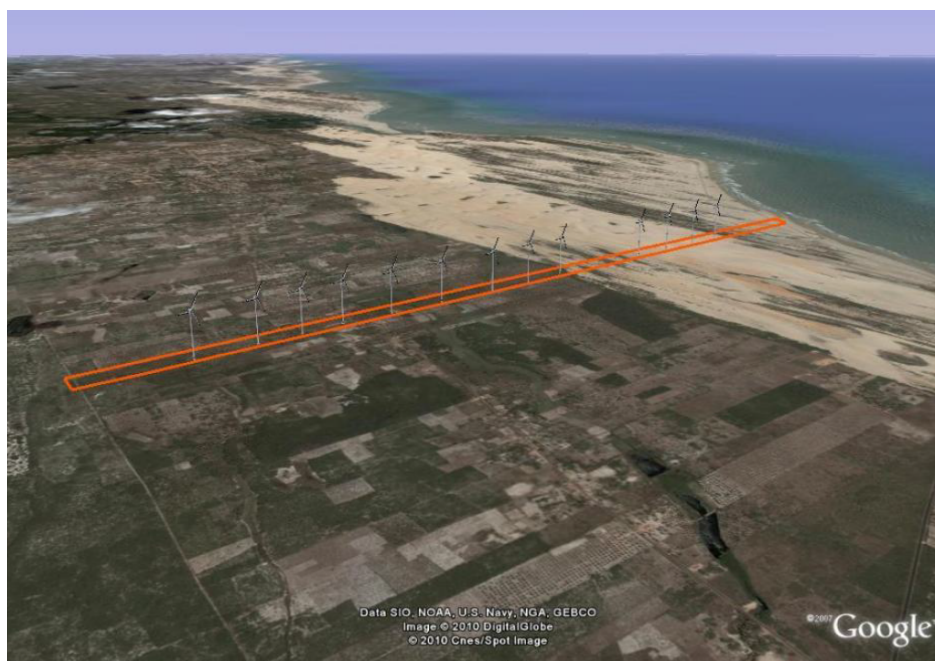


Fonte: GEOCONSULT Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda (2011).

De acordo com o RIMA do empreendimento, realizado em 2011 pela empresa GEOCONSULT Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda, o processo de licenciamento ambiental teve a emissão da licença prévia em 2009, que trouxe a obrigatoriedade da realização de EIA/RIMA para o projeto. O documento visa abranger, além da instalação dos aerogeradores, a construção e implantação de toda estrutura para aporte dessas máquinas.

Dessa forma, a UEE Embuaca é constituída por 13 aerogeradores, distribuídos como mostra a Figura 15, além de estradas de acesso, cabeamento elétrico e de controle, casa de controle e subestação elétrica. Para este projeto a energia será escoada para ter sua tensão elevada na subestação de Faísa, construída para o Complexo Eólico de Faísa, localizada a aproximadamente 15 km do local do empreendimento. O empreendimento está em operação desde março de 2014 (ANEEL, 2021).

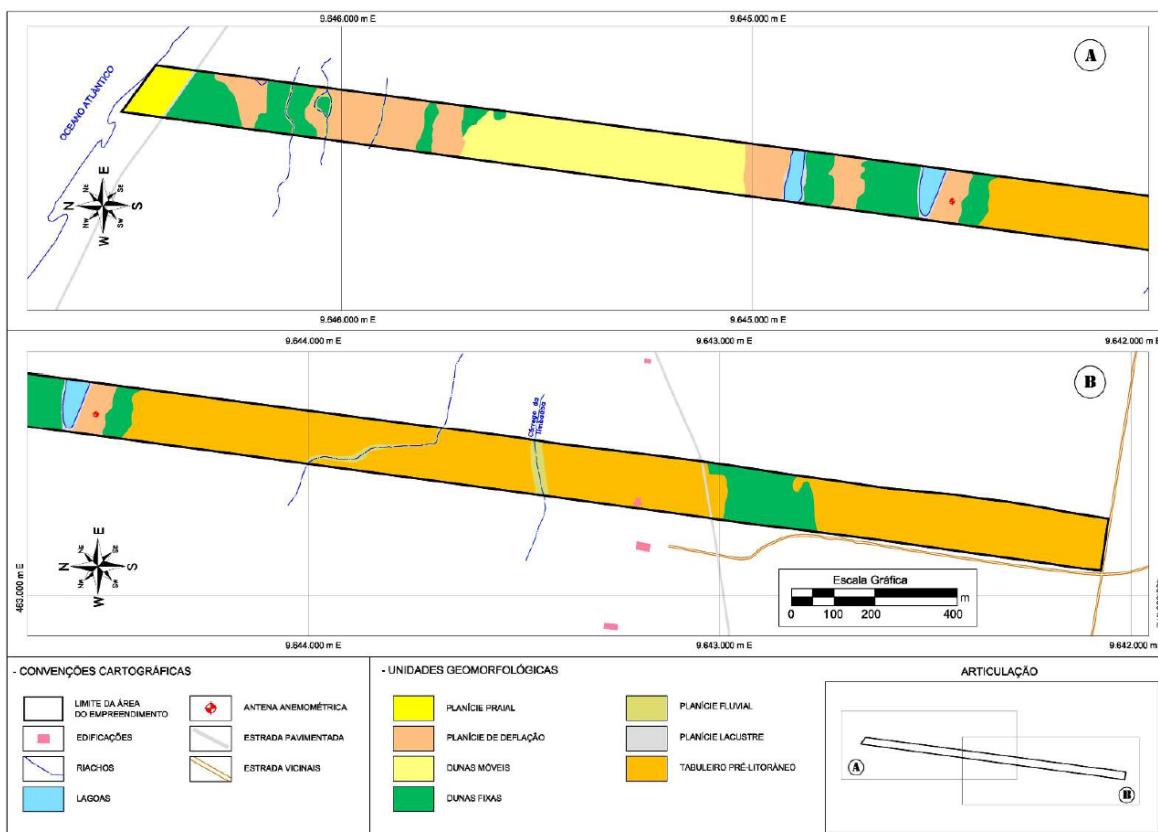
Figura 15 – Distribuição dos aerogeradores na UEE Embuaca.



Fonte: GEOCONSULT Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda (2011).

A configuração do projeto traz à tona a importância do estudo ambiental em prol de reduzir os impactos adversos ao meio ambiente inserido. A Figura 16 abaixo mostra a inserção do empreendimento em zonas ambientais de grande importância ecológica e de alta sensibilidade ambiental, como a área de dunas móveis e dunas fixas, enquadradas como APP. Além disso, pode-se perceber que também estão inclusos na área demarcada corpos d'água, que são componentes de alta importância para manutenção dos ecossistemas.

Figura 16 – Zoneamento ambiental da área do empreendimento UEE Embuaca.

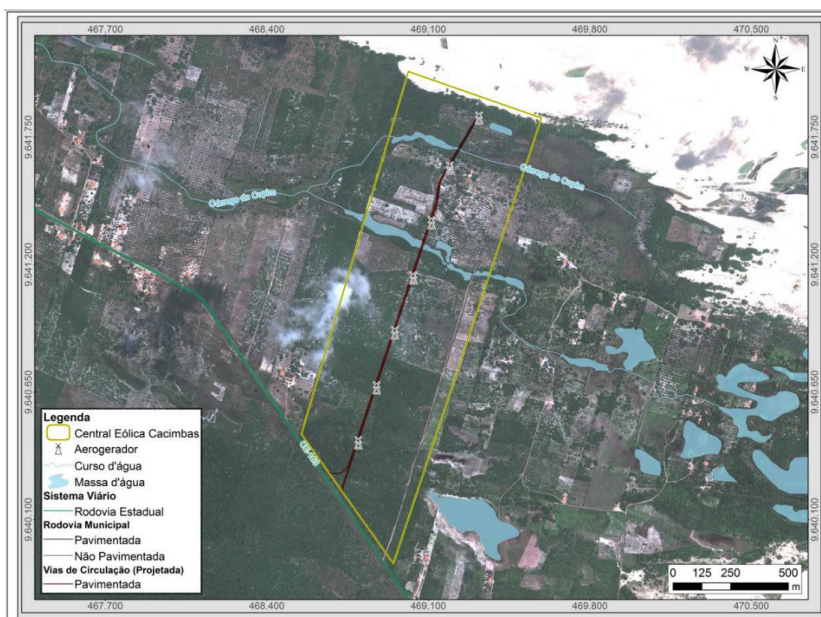


Fonte: GEOCONSULT Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda (2011).

6.1.3 Central Eólica Cacimbas

O terceiro e último empreendimento dentro da amostra analisada no estudo é a Central Eólica Cacimbas, localizado no distrito de Flecheiras, em Trairi, a aproximadamente 2 km da Central Eólica Trairi. De acordo com o EIA feito pela empresa MRS Estudos Ambientais Ltda. em 2013, o projeto tem capacidade instalada de 21 MW e é constituído por 7 aerogeradores distribuídos em um terreno de 106 ha porém com área final utilizada de 5 ha (Figura 17). As turbinas eólicas são do fabricante *Acciona Wind Power* e possuem capacidade nominal de 3 MW em torres de 118 m de altura e diâmetro do rotor de 125 m. A fundação das torres tem dimensão de aproximadamente 18 m de diâmetro. Além dos aerogeradores, a estrutura conta com estradas de acesso aos equipamentos, cabeamento elétrico e de controle e uma subestação elétrica, na qual será utilizada a mesma já construída para a Central Eólica Trairi.

Figura 17 – Configuração do empreendimento Central Eólica Cacimbas.



Fonte: MRS Estudos Ambientais (2013).

O parque faz parte do Complexo Eólico Santa Mônica, que conta também com os parques Ouro Verde, Santa Mônica e Estrela. Inicialmente, o processo de licenciamento ambiental dos mesmos tiveram licença prévia emitida em 2011, porém o projeto sofreu alterações de acordo com os estudos ambientais e de engenharia. A Central Eólica Cacimbas teve então sua capacidade instalada revisada de 26 MW para 21 MW e escolheram-se turbinas de melhor tecnologia.

Figura 18 – Central Eólica Cacimbas, em Trairi.



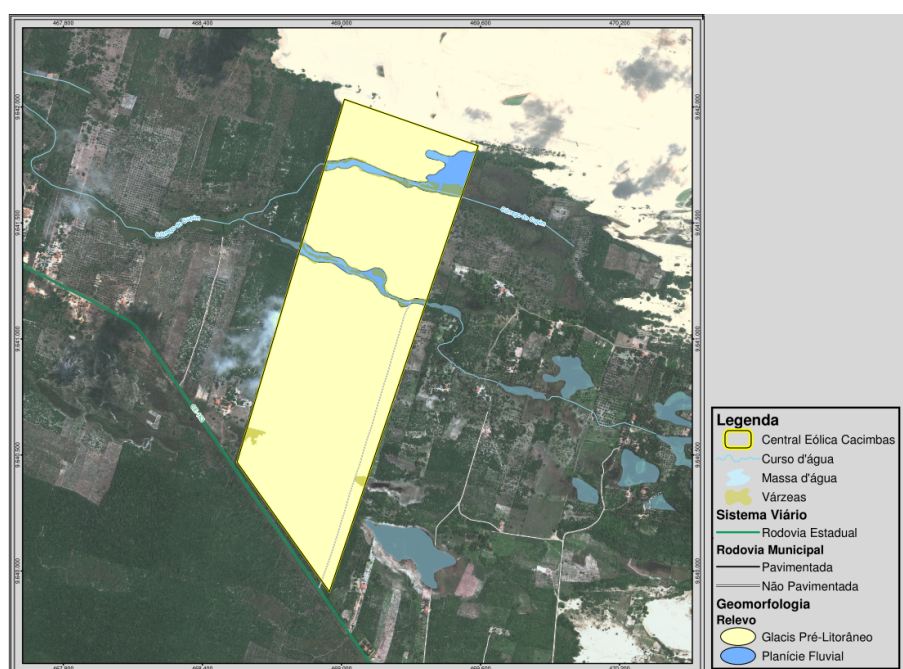
Fonte: Google Maps⁶ (2018).

⁶ Disponível em: <https://www.google.com/maps/@-3.2509006,-39.2851685,3a,75y,83h,88.33t/data=!3m6!1e1!3m4!1s98r2yeS3AkleylGXgQMnuA!2e0!7i13312!8i6656>. Acesso em: 12 ago. 2021.

Além disso, houve uma revisão do *layout* do empreendimento que permitiu a exclusão de instalação dos aerogeradores em área de dunas, o que reduziu a área total impactada ambientalmente em 52%. Um novo processo de licenciamento foi iniciado com licença prévia emitida em 2013. De acordo com a ANEEL (2021), o parque, mostrado na Figura 18, entrou em operação em dezembro de 2016.

Como citado anteriormente, o parque teve sua configuração modificada que resultou na exclusão da área de dunas como zona ambiental diretamente afetada. Dessa forma, como mostrado na Figura 19, a maior parte do empreendimento está inserido na área de Tabuleiros Pré-Litorâneos (ou Glacis Pré-Litorâneo) mas também contém áreas de Planície Fluvial próximo aos corpos d'água, apresentando boas condições de solo para atividades agrícolas e boa disponibilidade hídrica.

Figura 19 – Zoneamento ambiental da área do empreendimento Cacimbas.



Fonte: MRS Estudos Ambientais (2013).

6.2 Identificação dos impactos ambientais

Para avaliar e analisar criticamente as consequências advindas dos empreendimentos eólicos utilizou-se do detalhamento de impactos ambientais contidos nos

documentos de EIA/RIMA realizados nas etapas de licenciamento ambiental para instalação e operação dos projetos, que são publicamente disponibilizados pelos órgãos estaduais responsáveis pelo processo, neste caso sendo a SEMACE. Além disso, utilizou-se de acervos bibliográficos de pesquisas antecedentes sobre esses impactos a fim de buscar críticas e pontos a serem realçados que envolvam a mitigação das adversidades observadas.

6.2.1 Central Eólica Trairi

Como citado anteriormente, a Central Eólica Trairi sofreu alterações de projeto desde a fase inicial do processo de licenciamento ambiental até a configuração final estabelecida. De acordo com a empresa Ambiental Consultoria & Projetos LTDA (2011), responsável pela elaboração do RIMA, essas mudanças foram implementadas visando reduzir os impactos ambientais no local. Desse modo, como exemplo dessas modificações houve a redução do número de empreendimentos do complexo, escolha de aerogeradores mais eficientes, aumento do espaçamento entre torres para diminuir o impacto visual na paisagem, aumento da distância dos aerogeradores até a comunidade do entorno e alteração da configuração para evitar áreas de dunas fixas, eolianitos e áreas de interesse ambiental.

Essas mudanças tiveram grandes resultados estimados em relação à redução no impacto ambiental, entretanto o empreendimento ainda possui diversos impactos adversos relacionados. O Quadro 4 mostra o resultado da avaliação dos impactos ambientais do parque, classificados por: caráter, escala, ordem, magnitude e duração.

Quadro 4 – Avaliação dos impactos ambientais para a Central Eólica Trairi.

Caráter		Escala		Ordem		Magnitude		Duração	
Benéfico	Adversos	Local		Direto		Grande		Longa	
79	54	37	53	40	54	2	0	14	8
		Regional		Indireto		Média		Média	
		42	1	39	0	21	15	37	10
						Pequena		Curta	
						56	39	28	36

Fonte: Ambiental Consultoria & Projetos LTDA (2011).

Junto à avaliação apresentada no Quadro 4, o relatório apresenta a descrição dos impactos dividindo-os pela fase do projeto (Estudo, Implantação e Operação) e pela atividade realizada com os impactos correspondentes.

Na avaliação da fase de estudo inicial e projeto, são realçados impactos positivos devido ao aumento de dados da área do Trairi, contribuindo com as informações de estudos topográficos, ambientais, geotécnicos, hidrológicos e de potencial eólico. Entretanto, nota-se que o RIMA não apresentou impactos adversos em relação a essa etapa. Moura-Fé e Pinheiro (2013) explicam que a fase de estudos geotécnicos e hidrológicos requerem utilização de equipamentos que emitem vibrações no terreno, fator que leva tanto ao desconforto para moradores de comunidades próximas quanto à movimentação de sedimentos, que pode deixar a área mais suscetível à erosão e ao assoreamento. Além disso, é comum na realização dos estudos sobre a fauna e flora do local a necessidade de supressão vegetal, mesmo que em pequena escala, de forma a facilitar o acesso ao local a ser estudado.

Já a fase de implantação mostra-se como a de maior número de impactos ambientais, em grande maioria de caráter adversos. Isso acontece devido à intensa modificação do local para abertura de vias de acesso, instalação de canteiro de obras, limpeza da área, construção das fundações e edificações, montagem das torres e aerogeradores e interligação até a subestação por meio de cabeamento elétrico.

A construção de vias de acesso é um processo que gera compactação do solo além de mudanças em suas características, ocasionando em alterações morfológicas e geotécnicas do terreno, podendo também impactar na drenagem do local. Em seguida, a construção das fundações dos aerogeradores junto ao processo de conexão dos mesmos à subestação por meio do cabeamento também mostram alta probabilidade de ocasionarem alterações no solo de forma cumulativa que podem ser definitivos na localidade.

Na etapa de limpeza da área, existe uma intensa perda de cobertura vegetal que ocasiona degradação ambiental além de deixar a região suscetível a processos erosivos. Ademais, esse processo atrelado ao alto fluxo de pessoas, maquinários e veículos pesados no canteiro de obras resulta na movimentação de fuga da fauna local, que pode gerar desequilíbrio nos ecossistemas encontrados.

Durante todo o processo de implantação são apresentados na maioria das atividades os impactos adversos de lançamento de poeira e gases, ocasionados pelo fluxo de veículos e maquinário além do manejo de materiais terrosos, emissão de ruídos, devido à intensa movimentação de pessoas e equipamentos no local, e também alteração na paisagem, causando impacto visual principalmente para os moradores do entorno. Como esses efeitos

acontecem em diferentes processos, estes impactam sinergicamente na alteração da qualidade do ar e dos aspectos sonoros da região, além de trazer desconforto ambiental.

Com a operação do empreendimento, são apresentados impactos em menor quantidade porém com longa duração na vida útil do projeto. O impacto na paisagem com a instalação dos aerogeradores de grande porte é inquestionável, principalmente devido a caracterização da região do litoral do Trairi ser de pequenas comunidades e centros turísticos, juntamente com a presença da faixa de dunas como beleza natural do local. Outro fator que é recorrente são as interferências eletromagnéticas, que podem interferir em sinais de rádio, televisão e telefonia, junto à emissão de ruídos advindos dos aerogeradores, afetando as comunidades próximas.

Ademais, durante o funcionamento são geradas consequências à biodiversidade do local, em especial para a avifauna e quirópteros (morcegos). As mudanças sofridas na região atreladas ao tamanho das torres e pás dos equipamentos podem causar perturbação e até morte dos animais devido sua fuga da região e colisão com os equipamentos.

Como ações mitigadoras e planos de controle de monitoramento propostas pela empresa Ambiental Consultoria & Projetos LTDA (2011) para os impactos expostos anteriormente, destacam-se:

- Utilização de caminhões pipa para diminuir o lançamento de poeiras do solo;
- Monitoramento para fuga da fauna controlada, evitando acidentes;
- Implementar planos de Gerenciamento de APPs e de Qualidade do Solo;
- Implementar plano de Monitoramento da Qualidade da Água;
- Construir as linhas de transmissão de forma subterrânea acompanhando o traçado das vias;
- Implementar plano de Recuperação de Áreas Degradadas;
- Implementar plano de Monitoramento de Fauna e Avifauna e Quirópteros.

6.2.2 Usina Eólico-Elétrica - UEE Embuaca

A avaliação dos impactos ambientais realizada pela empresa GEOCONSULT Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda., em 2011, para o parque eólico UEE Embuaca usou da metodologia de caracterização dos efeitos mapeados em uma lista de causas e efeitos.

A análise foi feita para cada fase do empreendimento (estudo, implantação e operação) e por fator ambiental (meio físico, meio biótico e meio antrópico). Além disso, a avaliação utilizou dos parâmetros: Caráter, Magnitude, Importância, Duração, Condição ou Reversibilidade, Ordem, Temporalidade, Escala, Cumulatividade e Sinergia. Assim, foi feito um checklist para cada impacto identificado, tendo como resultado a Quadro 5 mostrada abaixo.

Quadro 5 – Avaliação dos impactos ambientais da UEE Embuaca.

Total														
CARÁTER	Total	(%)	MAGNITUDE	Total	(%)	IMPORTÂNCIA	Total	(%)	DURAÇÃO	Total	(%)	CUMULATIVIDADE	Total	(%)
BENÉFICO (+)	127	55,22	PEQUENO (MP)	159	69,13	NÃO SIGNIFICATIVA (IN)	86	37,39	CURTA (DC)	150	65,22	CUMULATIVA (CS)	196	85,22
ADVERSO (-)	103	44,78	MÉDIO (MM)	65	28,26	MODERADA (IM)	120	52,17	MÉDIA (DM)	6	2,61	NÃO CUMULATIVA (CN)	34	14,78
			GRANDE (MG)	6	2,61	SIGNIFICATIVA (IS)	24	10,43	LONGA (DL)	74	32,17			
	230	100,00		230	100,00		230	100,00		230	100,00		230	100,00
REVERSIBILIDADE	Total	(%)	ORDEM	Total	(%)	TEMPORALIDADE	Total	(%)	ESCALA	Total	(%)	SINERGIA	Total	(%)
REVERSÍVEL (CR)	203	88,26	DIRETA (OD)	119	51,74	TEMPORÁRIO (TT)	168	73,04	LOCAL (EL)	135	58,70	COM SINERGIA (SS)	186	80,87
IRREVERSÍVEL (CI)	27	11,74	INDIRETA (OI)	111	48,26	PERMANENTE (TP)	62	26,96	REGIONAL (ER)	95	41,30	SEM SINERGIA (SN)	44	19,13
						CÍCLICO (TC)	0	-						
	230	100,00		230	100,00		230	100,00		230	100,00		230	100,00

Fonte: GEOCONSULT Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda (2011).

Na análise apenas dos impactos adversos, obteve-se o Quadro 6 como resultado.

Quadro 6 – Avaliação dos impactos de caráter adverso da UEE Embuaca.

Total														
CARÁTER	Total	(%)	MAGNITUDE	Total	(%)	IMPORTÂNCIA	Total	(%)	DURAÇÃO	Total	(%)	CUMULATIVIDADE	Total	(%)
ADVERSO (-)	103	44,78	PEQUENO (MP)	54	23,48	NÃO SIGNIFICATIVA (IN)	23	10	CURTA (DC)	63	27,39	CUMULATIVA (CS)	96	41,74
			MÉDIO (MM)	44	19,13	MODERADA (IM)	70	30,43	MÉDIA (DM)	5	2,17	NÃO CUMULATIVA (CN)	7	3,04
			GRANDE (MG)	5	2,17	SIGNIFICATIVA (IS)	10	4,35	LONGA (DL)	35	15,22			
	103	44,78		103	44,78		103	44,78		103	44,78		103	44,78
REVERSIBILIDADE	Total	(%)	ORDEM	Total	(%)	TEMPORALIDADE	Total	(%)	ESCALA	Total	(%)	SINERGIA	Total	(%)
REVERSÍVEL (CR)	88	38,26	DIRETA (OD)	57	24,78	TEMPORÁRIO (TT)	71	30,87	LOCAL (EL)	95	41,3	COM SINERGIA (SS)	91	39,57
IRREVERSÍVEL (CI)	15	6,52	INDIRETA(OI)	46	20	PERMANENTE (TP)	32	13,91	REGIONAL (ER)	8	3,48	SEM SINERGIA (SN)	12	5,21
						CÍCLICO (TC)	0	0						
	103	44,78		103	44,78		103	44,78		103	44,78		103	44,78

Fonte: Elaborado pela autora com dados de GEOCONSULT Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda (2011).

Durante a fase de estudo inicial do projeto, a grande maioria dos impactos identificados são de caráter benéfico, se referindo, principalmente, à contratação de pessoas e serviços para realização dos estudos, movimentando o comércio da região, e ao aumento de informações para a região, em relação à características geográficas, morfológicas e de potencial de vento. Entretanto, o relatório também mostra impactos adversos com a realização de remoção de cobertura vegetal para acesso ao local, o que, aliado ao fluxo de pessoas e veículos, ocasiona no afugentamento da fauna.

A fase de maior número de impactos é a fase de implantação, representando mais de 60% do total. Esse processo promove diversas alterações no local, ocasionando uma grande emissão de gases, poeiras, e ruídos, devido à intensa movimentação de sedimentos e fluxo de pessoas e veículos, causando desconforto ambiental além de desconforto visual. As

etapas de instalação do canteiro de obras, construção de vias de acesso, limpeza do terreno e terraplanagem costumam acontecer paralelamente, resultando em efeitos cumulativos e sinérgicos à área impactada.

Essas atividades requerem remoção da cobertura vegetal para limpeza do terreno, ocasionando perda da biodiversidade além de deixar a área suscetível a processos erosivos. Além disso, a perda da flora local tem também como consequência o afugentamento da fauna, que pode gerar desequilíbrio ambiental com o aumento da população em habitats que não foram afetados. Junto a isso, as etapas de terraplanagem e construção de vias acarretam alteração na dinâmica sedimentar da área, trazendo modificações morfológicas e geotécnicas. Com a etapa de edificação das fundações dos aerogeradores, estas modificações no solo se tornam cumulativas, sendo caracterizadas como impactos de longa duração e permanentes.

O estudo afirma que, mesmo que não recomendável, o parque UEE Embuaca possui 4 aerogeradores instalados em área de dunas móveis, permitido em resolução do CONAMA devido ao caráter de importância social do empreendimento. Dessa forma, afirma-se no estudo que parte da região de dunas móveis, lagoas e dunas fixas, caracterizadas como APP's, também sofrerão impactos negativos em suas características morfológicas, hidrológicas, fator preocupante devido à sensibilidade destas áreas e sua importância para a manutenção dos ecossistemas.

Durante a fase de operação do parque eólico, um dos maiores impactos negativos é a alteração na paisagem, mesmo com afastamento de 270m entre os aerogeradores. Outros impactos que podem ser identificados são o ruído mecânico gerado, a interferência dos campos magnéticos criados e o risco de acidentes com a avifauna.

Com a identificação e caracterização dos impactos relacionados ao parque UEE Embuaca, a empresa GEOCONSULT Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda. apresentou ações mitigadoras e planos de controle a serem realizados para a viabilidade do empreendimento. Dentre elas, estão:

- Preservar o máximo possível de cobertura vegetal para evitar processos erosivos;
- Delimitar o campo de APP's para evitar intervenções desnecessárias;
- Adaptar o traçado das vias para se adequar a morfologia natural do terreno;
- Recuperar áreas trabalhadas degradadas, com o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD);

- Diagnosticar e controlar focos de erosão, com planejamento ambiental;
- Plano de Controle de Desmatamento;
- Plano de Monitoramento da Avifauna;
- Plano de Monitoramento dos Ruídos e Vibrações;
- Plano de Monitoramento da Qualidade da Água e Plano de Monitoramento da Qualidade dos Solos.

6.2.3 Central Eólica Cacimbas

Após o detalhamento das características do empreendimento da Central Eólica Cacimbas e do diagnóstico ambiental, a empresa MRS Estudos Ambientais Ltda. realizou a identificação e avaliação dos impactos ambientais gerados para, em seguida, propor ações mitigadoras e planos de monitoramento. A empresa utilizou em sua metodologia a classificação dos impactos nos seguintes critérios: meio, natureza, forma, duração, prazo de ocorrência, probabilidade, reversibilidade, abrangência, magnitude, importância e significância. Desse modo, tem-se como resultados o Quadro 7 abaixo.

Quadro 7 – Avaliação dos impactos ambientais da Central Eólica Cacimbas.

Natureza	Total	(%)	Meio	Total	(%)	Fase	Total	(%)
POSITIVO	9	23,68	FÍSICO	18	47,37	ESTUDO	7	18,42
NEGATIVO	29	76,32	BIÓTICO	8	21,05	INSTALAÇÃO	24	63,16
			SOCIOECONÔMICO	12	31,58	OPERAÇÃO	7	18,42
	38	100		38	100		38	100
Forma	Total	(%)	Duração	Total	(%)	Prazo de Ocorrência	Total	(%)
DIRETA	34	89,47	TEMPORÁRIO	18	47,37	IMEDIATO	24	63,16
INDIRETA	4	10,53	PERMANENTE	20	52,63	MÉDIO PRAZO	7	18,42
			CÍCLICO	0	0	LONGO PRAZO	7	18,42
	38	100		38	100		38	100
Probabilidade	Total	(%)	Reversibilidade	Total	(%)	Abrangência	Total	(%)
CERTO	22	57,89	REVERSÍVEL	23	60,53	LOCAL	28	73,68
PROVÁVEL	12	31,58	IRREVERSÍVEL	15	39,47	REGIONAL	8	21,05
POUCO PROVÁVEL	4	10,53				ESTRATÉGICO	2	5,263
	38	100		38	100		38	100
Magnitude	Total	(%)	Importância	Total	(%)	Significância	Total	(%)
ALTA	3	7,895	PEQUENA	2	5,263	MUITO SIGNIFICATIVO	9	23,68
MÉDIA	22	57,89	MÉDIA	16	42,11	SIGNIFICATIVO	19	50
BAIXA	13	34,21	GRANDE	20	52,63	POUCO SIGNIFICATIVO	10	26,32
	38	100		38	100		38	100

Fonte: Elaborado pela autora com dados de MRS Estudos Ambientais Ltda. (2013).

A fase de estudo inicial para o projeto só apresentou 7 impactos. Dentre estes, 5 são de natureza positiva, relativos à contratação de serviços na região e ao aumento de estudos técnicos disponíveis que o EIA/RIMA apresenta, e 2 são de natureza negativa, relativos à emissão de ruídos, vibrações e poeiras consequentes da utilização de equipamentos para levantamento técnico da região.

Assim como em outros estudos, a etapa que possui mais impactos relacionados é a de instalação, representando mais de 63% do total e sendo 21 impactos identificados como negativos.

A instalação do empreendimento abrange processos de aberturas de vias de acesso, implantação do canteiro de obras, limpeza do terreno, conexão elétrica, estabelecimento das fundações e montagem das torres dos aerogeradores. Estas atividades alteram as características e propriedades do solo da região e torna o mesmo suscetível a processos erosivos. Além disso, esta etapa tende a gerar alteração na qualidade do ar, devido à emissão de material particulado e gases, e também no nível de ruídos, ocasionado pelo alto fluxo de pessoas, veículos pesados e maquinários. O processo de compactação do solo e imposição de sedimentos na terraplanagem impactam na dinâmica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas, que pode gerar um desequilíbrio hídrico na região. Visto a proximidade da área do empreendimento da região de dunas caracterizada como APP, também considera-se como impacto ambiental negativo a interferência nessas regiões.

O meio biótico é impactado de forma sinérgica com os impactos citados anteriormente, pois as atividades citadas requerem supressão de cobertura vegetal, com perda de espécimes da biota. Consequentemente, ocorre o processo de fuga da fauna para adjacências devido à perda do habitat natural das espécies. Este afugentamento para áreas próximas pode levar à caça, captura ou atropelamento destes animais.

Já os impactos advindos da operação do empreendimento também são comuns a outros estudos. Neste estudo, destacam-se as alterações de nível de ruído, interferências eletromagnéticas e impacto visual na paisagem. Além disso, é identificado como impacto negativo ao meio biótico o impacto sobre as aves e morcegos que, além de sofrerem perda de habitat durante a implantação, correm risco de colisão e morte com os aerogeradores.

Visto o que foi apresentado, de forma a minimizar os impactos foram propostas pela empresa ações e planos de monitoramento, como por exemplo:

- Programa ambiental de construção (PAC);
- Programa de monitoramento de ruídos e vibrações;
- Programa de monitoramento da qualidade da água;
- Programa de monitoramento da fauna;
- Aplicação de tamanho e tipos similares de turbinas de usinas eólicas adjacentes;
- Utilização de repelentes sonoros e radiação eletromagnética associada aos radares para alertar aves e morcegos.

6.3 Análise dos impactos ambientais no Trairi

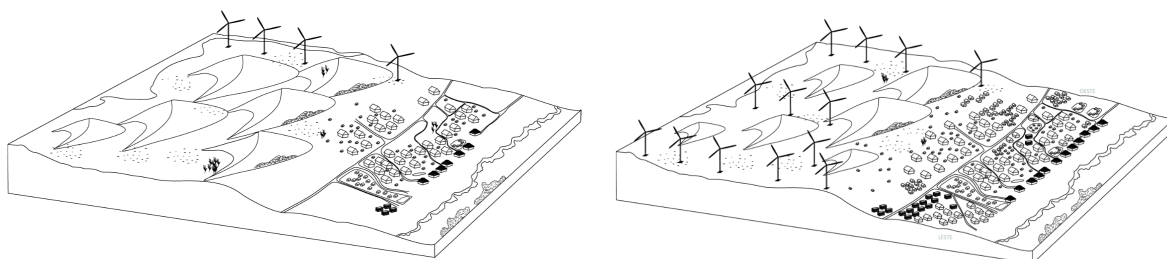
Com os estudos ambientais e respectivos RIMA mostrados anteriormente para os três parques eólicos da amostra analisada, é possível levantar aspectos sobre eles e uma análise crítica ao que foi apresentado na identificação e avaliação dos impactos ambientais.

O primeiro aspecto evidente é a falta de padronização na realização dos estudos ambientais que são realizados por empresas de consultoria privadas. Conforme o estudo realizado por Aversa e Montañó (2019), são verificadas muitas lacunas nos EIA de empreendimentos eólicos no Ceará entre os conhecimentos científicos requeridos e o que é apresentado em relatórios, dificultando o processo de tomada de decisão. Gorayeb *et al.* (2019) reforça que a precariedade dos dados apresentados pode levar à subestimação de impactos ambientais importantes para a avaliação da inserção do empreendimento na região, com a falta de qualidade e confiabilidade das informações. Esta preocupação está presente também na amostra escolhida, visto que o RIMA da Central Eólica Trairi não apresenta nível de detalhamento adequado na identificação e caracterização dos impactos ambientais. Desse modo, torna-se mais difícil obter visão precisa da dimensão das consequências do empreendimento e realização de parecer sobre o mesmo.

Outro fator que requer enfoque maior é o aspecto cumulativo e sinérgico que a presença de parques eólicos próximos, como os da amostra, gera para a população e o ambiente. Alguns impactos são vistos com baixa significância quando avaliados de forma individual, sendo agravados quando presentes em mais de um parque na mesma localidade.

Um destes aspectos é a intensa alteração na paisagem do litoral com a inserção de múltiplos parques eólicos. Katsaprakakis (2012) explica que o impacto visual dos aerogeradores são mais significativos em áreas que não possuem outras grandes interferências humanas e em áreas que têm atratividade turística devido às paisagens naturais, ambas descrições podem ser aplicadas em relação ao litoral do Trairi. Desse modo, a atratividade do município pelo potencial eólico preocupa pelo crescimento do impacto na paisagem natural, como mostra Oliveira (2019) no esquema de cenário de crescimento da região na Figura 20.

Figura 20 – Cenário atual versus cenário de tendência de crescimento no litoral de Flecheiras.



Fonte: Oliveira (2019).

Com a análise dos EIA/RIMA dos empreendimentos estudados pode-se perceber, assim como Aversa e Montañó (2019), que nem todos apresentam modelagem para avaliação de impactos visuais. Apenas a UEE Embuaca mostra uma simulação de *layout* dos aerogeradores na paisagem, porém sem detalhar os efeitos deste impacto. Além disso, pode-se perceber que nenhum relatório analisado no estudo considera o impacto de shadow flicker sobre comunidades vizinhas, que podem ser impactadas pelo distúrbio desse efeito.

Juntamente ao que foi exposto, outro impacto a ser avaliado é a emissão de ruídos dos empreendimentos. Comumente nos EIA/RIMA os níveis de ruídos durante a instalação não tem devida importância visto que são temporários, acontecendo durante o processo de implantação do canteiro de obras e montagem dos equipamentos. Entretanto, uma pesquisa realizada por Sales (2018) na comunidade de Estrela, em Trairi, apontou a emissão de ruídos como um dos impactos ambientais mais percebidos pelos moradores. Além disso, o desconforto sonoro resultante do funcionamento dos aerogeradores é tratado, muitas vezes, como irrelevante devido à baixa intensidade, porém Gorayeb *et al.* (2019) confirma com o relato de trabalhadores e moradores que o maior problema está na intermitência dos ruídos. Dessa forma, Aversa e Montañó (2019) afirmam que não são bem aplicáveis como critério os

limites legais de emissão de ruído, visto que o incômodo gerado é mais significativo porém subjetivo à percepção da população e condições do local.

Também pode-se perceber na análise dos relatórios apresentados a falta de devida importância para os efeitos adversos nas áreas de preservação, como componentes hídricos e área de dunas móveis e dunas fixas. Dentro da amostra estudada, 2 dos 3 parques possuem intervenção direta em área de dunas. A Central Eólica Trairi possui 6 dos 11 aerogeradores instalados na região dunar, com extensão do impacto de mais de 1km, e a UEE Embuaca possui 4 dos 13 aerogeradores nessa unidade ambiental, também equivalente a mais de 1km de extensão.

Como os empreendimentos possuíam respaldo da resolução CONAMA 369/2006, por se enquadrarem como de interesse social e baixo impacto ambiental, não são bem apresentados nos RIMAs os impactos específicos nestas áreas. Entretanto, devido à alta instabilidade ambiental e alta vulnerabilidade destas unidades ambientais, é essencial que os estudos incluam a avaliação destes impactos. Além disso, a mesma resolução define que a autorização para a intervenção em APPs só se dará mediante a comprovação da inexistência de alternativas locacionais. Com a análise da região onde se localizam os parques em estudo, percebe-se que o impacto sobre área de dunas e APPs poderia ser evitado concentrando a instalação dos aerogeradores na zona de tabuleiros pré-litorâneos. Estudos mostram que esta unidade ambiental é mais estável e de baixa vulnerabilidade, possuindo alto potencial eólico e mais resistência a atividades antrópicas (SALES, 2018; LOUREIRO *et al.*, 2015; OLIVEIRA, 2014).

Segundo Aquasis (2003 *apud* OLIVEIRA, 2014) a região de dunas móveis são extensas na região e tem papel importante na manutenção da dinâmica litorânea além de alto valor paisagístico, porém são ambientes com instabilidade e baixo suporte de uso e ocupação do solo. Desse modo, a instalação dos aerogeradores nessa região, como mostrado na Figura 21, tem consequências de grande relevância para o equilíbrio desse ambiente e podem ser permanentes.

Figura 21 – Aero geradores da Central Eólica Trairi na região de dunas móveis.



Fonte: Rafael Fialho de Oliveira (2012).

Já as dunas fixas representam porções menores do terreno e são caracterizadas por cobertura vegetal já desenvolvida e são essenciais para a regulação hídrica devido sua porosidade. Oliveira (2014) explica que a supressão da vegetação e soterramento dessa região para abertura de vias de acesso e montagem dos aerogeradores, visto na Figura 22, gera alterações topográficas e morfológicas do terreno além de causar desequilíbrio em sua dinâmica. Esse processo também atinge o equilíbrio hídrico da região, por meio, também, do soterramento de lagoas interdunares.

Figura 22 – Supressão vegetal em área de dunas fixas.



Fonte: Rafael Fialho de Oliveira (2012).

Além dos impactos sobre o meio físico citados, também percebe-se a carência de informações detalhadas nos relatórios acerca dos impactos sobre o meio biótico. O alto nível de supressão vegetal e alterações no local do empreendimento trazem uma perda ecológica de fauna e flora. Nota-se que os RIMAs dos parques estudados usam como critério de significância do impacto no diagnóstico ambiental, somente a identificação de espécies protegidas ou em extinção. Ademais, nota-se que os relatórios não detalham estudos da região em relação a rotas migratórias de avifauna e quirópteros, e não utilizam de mecanismos para dimensionar esse impacto.

Por esse motivo, faz-se necessário uma investigação mais profunda da perda causada nos ecossistemas, principalmente em áreas com mais de um parque eólico. A Central Eólica Trairi e a Central Eólica Cacimbas trazem como preocupação o desequilíbrio ambiental gerado de forma cumulativa devido à proximidade entre elas, podendo gerar movimentos desordenados de afugentamento e alto nível de desequilíbrio ecológico.

6.4 Ações mitigadoras

De acordo com Azevedo *et al.* (2016), a minimização ou eliminação dos impactos ambientais podem ser alcançadas por meio de planejamento adequado e inovações tecnológicas. Dessa forma, para realização de ações mitigadoras para os impactos ambientais advindos dos empreendimentos eólicos, Arnett e May (2016) apontam como metodologia a hierarquização dos tipos de ações a serem aplicadas, como explicam:

Esta hierarquia normalmente envolve evitar locais de alto risco durante o planejamento de instalações de turbinas eólicas, seguido por medidas de minimização durante as operações e compensando impactos imprevistos ou inevitáveis por meio de medidas compensatórias (muitas vezes chamadas de compensações biológicas). (Tradução livre)

Arelado à hierarquia apresentada, a análise do presente estudo demonstrou a necessidade de maior nível de padronização nos EIA/RIMA apresentados aos órgãos ambientais, além de maior reforço dos governos na aplicação de legislações ambientais. Aversa e Montañó (2019) apontam em sua análise de 31 EIA de parques eólicos no Ceará que as deficiências nas informações apresentadas não são suficientes para a avaliação de potenciais impactos dos empreendimentos. Desse modo, Saidur et al. (2011 *apud* GORAYEB

et al., 2019) sugere que, muitas vezes, governos não impõem muitas restrições para aceitação de empreendimentos eólicos visto a necessidade de diversificar a matriz energética nacional.

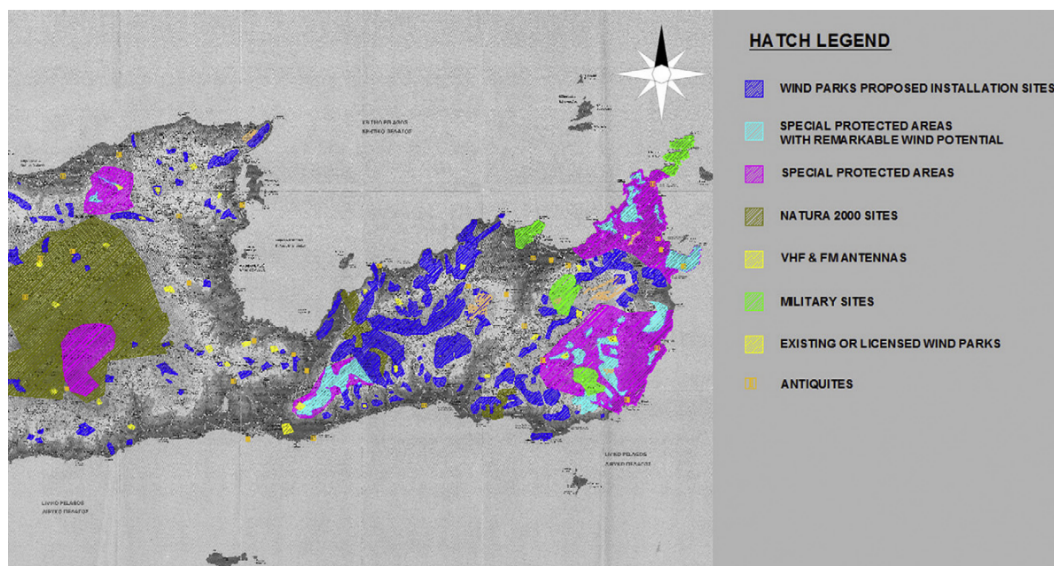
Por esse motivo, Aversa e Montaña (2019) indicam a falha na aplicação em completude das resoluções CONAMA 01/1986 e 369/2006, que exigem na apresentação dos EIA alternativas locais para a implantação do projeto, buscando evitar interferências em áreas de APP e em áreas prioritárias de conservação. Oliveira (2014) reforça que frequentemente aspectos políticos e econômicos sobressaem na avaliação dos impactos ambientais, enquanto pouco é relatado acerca das consequências ao equilíbrio da dinâmica costeira em Trairi.

Seguindo a metodologia apresentada, pode-se notar como essencial o planejamento bem elaborado para a definição do local de instalação dos parques eólicos. A utilização do mapeamento e planejamento dos municípios se mostra como um importante instrumento para a tomada de decisão, levando em consideração na sua elaboração restrições em relação ao uso atual da terra, impactos na vida da população da região e na conservação do meio ambiente (KATSAPRAKAKIS, 2012). Jabber (2013 *apud* GORAYEB *et al.*, 2019) afirma que esses estudos dão direcionamentos necessários para adequação do empreendimento, localização das turbinas e impacto visual na paisagem.

Um exemplo desse mecanismo é visto nas diretrizes e boas práticas para implantação de energia eólica na Austrália, onde são especificados os requerimentos para cada etapa do empreendimento, desde a escolha do local até a desativação do parque. Desse modo, essas diretrizes especificam, para a definição do local de instalação, a necessidade de atender aos critérios de potencial eólico e viabilidade de implantação, observando o uso do solo, áreas residenciais, áreas ambientalmente sensíveis, conexão elétrica, empecilhos na construção e potenciais impactos ambientais (CEC, 2018).

De forma análoga, Katsaprakakis (2012) utiliza do método de mapeamento para planejamento de potenciais localidades para energia eólica em seu estudo para Lasithi, na Grécia, resultando na análise mostrada na Figura 23. O mapa foi feito considerando: estudos de potencial eólico da região, áreas com fauna e flora protegidas, sítios arqueológicos, áreas militares, antenas de rádio, áreas residenciais e zonas de potencial turístico.

Figura 23 – Mapa de zoneamento para Lasithi, Grécia.



Fonte: Katsaprakakis, 2012.

Os autores Molina e Tudela (2008 apud GORAYEB et al., 2019) reafirmam a importância do zoneamento na escolha do local para parques eólicos, pautados em avaliações físico-territoriais, além de aspectos históricos, culturais e econômicos. Oliveira (2019) aponta que o Ceará já realizou projetos de gestão da zona costeira do estado e tem experiências em políticas para incentivar esses estudos de zoneamento. Além disso, o autor reforça a necessidade de equipes multidisciplinares e da presença da comunidade da região na definição do mapeamento, de forma a trazer diferentes necessidades e pontos de vista.

As ações de planejamento e mapeamento das regiões em análise para implantação de parques eólicos também são um importante mecanismo para estudo de impacto visual. Aversa e Montaño (2019) explicam que, visto a subjetividade do impacto e dificuldade de mensuração de seus efeitos, faz-se necessário a aplicação de estudos de zonas de visibilidade, definição de parâmetros e previsão de futuras alterações na paisagem. Como exemplo dessas metodologias, Katsaprakakis (2012) utiliza em seu estudo simulações em *softwares* de modelagem de forma a avaliar o impacto visual em diferentes distâncias, perceptíveis também em áreas residenciais e de importância turística. Além disso, nas diretrizes australianas para a energia eólica, também cita-se a utilização de *softwares* para prever área e tempo de impacto do efeito *shadow flicker*, evitando a percepção desse efeito em comunidades próximas (CEC, 2018).

Além disso, Terciote (2015) explana que a conscientização da população da região avaliada tem sido uma forma eficiente de minimizar o efeito percebido na paisagem por meio do aumento da compreensão sobre esse tipo de energia, sua importância e seus efeitos. Como boa prática, é de grande importância a participação da comunidade também durante o planejamento e zoneamento, de forma a determinar as características e valor atribuído à paisagem tanto para a cultura do local quanto para suas atividades econômicas e turísticas (CEC, 2018).

Seguindo a metodologia apresentada por Arnett e May (2016), de forma a propor medidas para minimizar os efeitos, Custodio (2009 *apud* PORCIUNCULA, 2018) aponta que o impacto do ruído dos aerogeradores vem sendo minimizado por meio do desenvolvimento tecnológico dos equipamentos. Desse modo, Deshmukh *et al.* (2018) expõe a utilização de métodos computacionais para aperfeiçoar o design das pás a fim de obter um ponto ótimo de minimização dos ruídos aerodinâmicos sem perder a eficiência no desempenho.

Entretanto, as tecnologias apresentadas tendem a reduzir o ruído, porém não eliminá-lo. Aversa e Montañó (2019) asseguram o caráter intermitente do efeito ser mais preocupante, assim, Deshmukh *et al.* (2018) afirmam, em tradução livre, que “O ruído da turbina eólica é considerado mais incômodo do que outras fontes de ruído da comunidade”. Apesar da falta de estudos aprofundados sobre as consequências do ruído emitido pelos aerogeradores, Pierpont (2006 *apud* FARIAS, 2020) aponta que o ruído de baixa frequência (RBF) pode trazer malefícios ao funcionamento do corpo humano.

Nesse sentido, faz-se necessário que as legislações ambientais brasileiras também incluam os requisitos de distanciamento dos aerogeradores até áreas residenciais e de uso da população. A resolução CONAMA 462/2014 determina apenas a necessidade de estudo de caracterização de ruído caso o empreendimento se localize a menos de 400m de áreas residenciais, porém sem estabelecer um distanciamento mínimo (BRASIL, 2014). Gorayeb *et al.* (2019) explana como boa prática Alemanha, Inglaterra e França como países que possuem regulamentos bem definidos acerca deste tema. Esse distanciamento também é de importância para evitar os impactos de *shadow flicker*, comentados anteriormente.

Outro aspecto importante no que tange ao planejamento dos parques eólicos e à minimização dos impactos, é referente à escolha dos equipamentos a serem utilizados. Como exposto anteriormente, o desenvolvimento tecnológico das turbinas e design aerodinâmico das pás vem trazendo avanços na redução da emissão de ruídos (CUSTODIO, 2009 *apud*

PORCIUNCULA, 2018; DESHMUKH *et al.*, 2018). Além disso, a bibliografia mostra a efetivação da mitigação do efeito de interferências eletromagnéticas (IEM) por meio do uso de materiais sintéticos em pás modernas (KATSAPRAKAKIS, 2012; TABASSUM-ABASSI *et al.*, 2014 *apud* AVERSA; MONTANO, 2019; PINTO *et al.*, 2017 *apud* FARIAS, 2020).

O aperfeiçoamento tecnológico também trouxe o avanço na potência nominal dos aerogeradores. Assim, o projeto dos empreendimentos podem fazer a escolha dos equipamentos de forma a obter a capacidade a ser instalada com uma menor quantidade de aerogeradores, fato que pode ser visto nas fases de licenciamento dos parques estudados nesta monografia. A diminuição na quantidade de turbinas, atrelados a redução na rotação pelo aumento do diâmetro do rotor, podem tornar mais fácil para aves e morcegos evitarem a colisão com os equipamentos (AMARANTE *et al.*, 2001).

Além disso, Lucas *et al.* (2012 *apud* MAIA, 2017) aponta a possibilidade da utilização de radares que detectam a presença de aves e morcegos para, caso necessário, provocar uma parada momentânea na rotação das pás dos aerogeradores em caso de urgência. Outra medida que pode ser utilizada é evidenciada em pesquisas teóricas iniciais por Nicholls e Racey (2009 *apud* ARNETT; MAY, 2016), que demonstram a utilização de radares portáteis com emissão de sinais eletromagnéticos para dissuadir morcegos. Entretanto, essa pesquisa não foi testada de forma prática em um parque eólico, transparecendo a necessidade de mais estudos, teóricos e práticos, acerca destes métodos de mitigação.

Para minimização dos efeitos sobre a avifauna e quirópteros, Arnett e May (2016) apontam a criação de mapas de risco de probabilidade de impacto sobre estes animais, baseados em estudos de migração, padrões de voo e uso de habitats das espécies. Complementarmente, é interessante promover estudos sólidos das regiões, utilizando as características mencionadas como base em *softwares* de modelos de risco de colisão, de forma a estimar a dimensão do impacto (CEC, 2018).

Com o que foi exposto, é possível reunir as ações de mitigação para os impactos ambientais presentes nos parques eólicos do estudo no Quadro 8 abaixo.

Quadro 8 – Ações mitigadoras para impactos ambientais de parques eólicos.

IMPACTO	CONSEQUÊNCIAS	ETAPA CAUSADORA	MITIGAÇÃO
DESEQUILÍBRIO NA FAUNA E FLORA	Alterações morfológicas e geotécnicas do solo	Estudo; Implantação; Operação	Reforço na definição e aplicação de legislações ambientais e padronização de EIA/RIMA; Zoneamento e mapeamento da região
	Perda de cobertura vegetal	Estudo; Implantação	Reforço na definição e aplicação de legislações ambientais e padronização de EIA/RIMA; Zoneamento e mapeamento da região; Medidas de compensação ambientais
	Intervenção em áreas prioritárias de conservação e APPs	Estudo; Implantação; Operação	Reforço na definição e aplicação de legislações ambientais e padronização de EIA/RIMA; Zoneamento e mapeamento da região; Medidas de compensação ambientais
	Colisões e mortalidade da avifauna e quirópteros	Operação	Zoneamento e mapeamento da região; Simulações computacionais de modelo de risco de colisão; Estudos para utilização de radares
EMISSÃO DE RUÍDO	Desconforto pela alteração dos níveis de ruídos	Implantação; Operação	Reforço na definição e aplicação de legislações ambientais e padronização de EIA/RIMA; Zoneamento e mapeamento da região; Definição de distanciamento mínimo até zonas residenciais; Escolha de turbinas modernas
IMPACTO VISUAL	Alteração na paisagem	Implantação; Operação	Reforço na definição e aplicação de legislações ambientais e padronização de EIA/RIMA; Zoneamento e mapeamento da região; Definição de distanciamento mínimo até zonas residenciais; Simulações de modelagem e fotomontagem; Escolha de turbinas modernas
	Shadow Flicker	Operação	Reforço na definição e aplicação de legislações ambientais e padronização de EIA/RIMA; Zoneamento e mapeamento da região; Definição de distanciamento mínimo até zonas residenciais; Simulações de área e tempo do efeito; Escolha de turbinas modernas
INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (IEM)	Interferência em sinais de rádio, televisão e telefonia, sistema de comunicação militares e de tráfego aéreo	Operação	Utilização de aerogeradores modernos com pás fabricadas com materiais sintéticos; Mapeamento de torres de transmissão de sinais de rádio e comunicação

Fonte: Elaborado pela autora.

7 CONCLUSÃO

Com este trabalho pode-se compreender a necessidade de trazer uma maior sintonia do crescimento global com o equilíbrio do meio ambiente. Assim, percebeu-se como se deu a procura por fontes renováveis na produção de energia e como elas foram inseridas na matriz energética dos países. Nota-se o crescimento da fonte eólica como uma das alternativas mais promissoras para substituir a utilização de combustíveis fósseis e, assim, buscar a preservação ambiental.

A análise de dados de capacidade instalada de energia eólica no Brasil deixou evidente a tendência de crescimento deste ramo, representando mais de 10% na matriz energética brasileira, visto o potencial de fortes ventos e programas de incentivo governamentais, em especial na região nordeste. Pode-se verificar o importante papel do Ceará como potencial para este tipo de energia, sendo o terceiro estado do Brasil com maior número de parques eólicos e aerogeradores e em capacidade instalada. No contexto do Ceará, dá-se destaque para o município de Trairi que representa 25% de toda capacidade instalada do estado, mostrando grande atratividade para este ramo.

Apesar do caráter “limpo” da energia eólica, foram identificados os impactos ambientais que são associados a este tipo de empreendimento, percebidos, principalmente, em escala local onde são instalados. Dessa forma, destacaram-se os efeitos sobre o meio físico e biótico: degradação da flora local, alterações morfológicas e geotécnicas do solo, afugentamento e perda de habitat da fauna, colisão de aves e morcegos, emissão de ruídos durante a instalação empreendimentos, ruídos intermitentes durante operação dos aerogeradores, impacto visual na paisagem com a interferência dos grandes equipamentos, desconforto gerado pelas sombras oscilantes das pás, interferência eletromagnética em sinais de rádio, televisão e comunicação.

Visto os impactos expostos, verificou-se os mecanismos legislativos para regulamentar os empreendimentos eólicos, em especial com as resoluções do CONAMA. Foi visto que os mecanismos apresentaram diversas cláusulas de flexibilização do processo de licenciamento e de permissões para intervenção em áreas de preservação, demonstrando, muitas vezes, a sobressaliência dos aspectos econômicos sobre os aspectos ambientais.

Selecionou-se como estudo de caso três parques localizados na região de Flecheiras, em Trairi: Central Eólica Trairi, UEE Embuaca e Central Eólica Cacimbas.

Pode-se evidenciar uma falta de padronização nos EIA/RIMA apresentados no licenciamento ambiental para implantação dos projetos, demonstrando lacunas no detalhamento dos impactos observados, dificultando a tomada de decisão. Além disso, nota-se a escassez de estudos aprofundados de alguns efeitos que trazem consequências permanentes para a região, a dinâmica do ecossistema e a comunidade que a habita.

Com a análise e avaliação dos impactos dos empreendimentos estudados, apontou-se métodos, técnicas e ações de mitigação dos impactos, buscando minimizá-los ou até eliminá-los. Como exemplo, cita-se o reforço nas legislações e padronização de EIA/RIMA, estudos de zoneamento e mapeamento da região pretendida, medidas compensatórias para intervenções irreversíveis, utilização de equipamentos modernos que dispõem de mecanismos para redução de impactos. Estas propostas visam reduzir ao máximo os efeitos advindos deste setor sobre a região, buscando o desenvolvimento sustentável, trazendo benefícios econômicos e preservando o meio ambiente que está inserido.

Deste modo, conclui-se que os objetivos deste estudo foram atingidos, demonstrando os impactos ambientais advindos de empreendimentos eólicos no município de Trairi e quais técnicas podem ser utilizadas para mitigá-los. Como estudos futuros, propõe-se o acompanhamento da percepção dos impactos durante a extensão da operação dos empreendimentos sobre uma região, seu ecossistema e sua comunidade, em especial no litoral cearense. Além disso, sugere-se o aprofundamento nas ações para minimização dos impactos, buscando expandir os estudos teóricos e aplicados para traçar soluções sólidas e eficazes.

REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA. **Boletim Anual Dados 2020**. Bela Vista: Abeeólica, 2021. 20 p.
- ABEEÓLICA. **InfoVento 2021**. Bela Vista: Abeeólica, 2021b. 2 p.
- AMARANTE, Odilon A. Camargo do *et al.* **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Cresesb, 2001. 44 p.
- AMBIENTAL CONSULTORIA & PROJETOS LTDA.. **Relatório de Impacto Ambiental - RIMA: central eólica trairi ltda.** Fortaleza: Ambiental Consultoria & Projetos Ltda., 2011. 128 p. Disponível em: <http://www.mpce.mp.br/caomace/arquivo-digital/licenciamento-ambiental-eiarima/>. Acesso em: 7 jul. 2021.
- ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005. 243 p.
- ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL SIGA**. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- ARNETT, Edward B; MAY, Roel F. Mitigating wind energy impacts on wildlife: approaches for multiple taxa. **Human–Wildlife Interactions**, [S.I.], v. 10, n. 1, p. 28-41, set. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001:2015**: Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 41 p. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/slr/cel/N3127.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- AVERSA, Izabella de Camargo; MONTAÑO, Marcelo. A defasagem de conhecimento na prática na Avaliação de Impacto Ambiental em projetos de energia eólica. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 52, p. 114-141, 30 dez. 2019. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v52i0.62881>.
- AZEVEDO, João Paulo Minardi de *et al.* Energia Eólica E Os Impactos Ambientais: Um Estudo De Revisão. **Revista Uningá**, Maringá, v. 51, n. 1, p. 101-106, 11 dez. 2016.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em: 24 julho 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 dez. 1997. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>. Acesso em: 29 julho 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 279, de 27 de junho de 2001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo,

Brasília, DF, 27 jun. 2001. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=277>. Acesso em: 29 julho 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 369, de 28 de março de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 mar. 2006. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=277>. Acesso em: 29 julho 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 462, de 24 de julho de 2014. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 jul. 2014. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=703>. Acesso em: 29 julho 2021.

CEARÁ, Superintendência Estadual Do Meio Ambiente. **Reestruturação e atualização do mapeamento do projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará – zona costeira e unidades de conservação costeiras**: relatório final de caracterização ambiental e dos mapeamentos. Fortaleza: Geoambiente, 2016. 475 p.

CEC, CLEAN ENERGY COUNCIL (Austrália). **Best Practice Guidelines for Implementation of Wind Projects in Australia**. Austrália: Clean Energy Council, 2018. Disponível em: <https://www.cleanenergycouncil.org.au/advocacy-initiatives/community-engagement>. Acesso em: 18 ago. 2021.

CUNHA, Eduardo Argou Aires *et al.* Aspectos Históricos da Energia Eólica no Brasil e no Mundo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [S.I.], v. 8, n. 4, p. 689-697, nov. 2019.

DESHMUKH, Shubham *et al.* Wind turbine noise and its mitigation techniques:: a review. **2Nd International Conference On Energy And Power**, Sydney, p. 633-640, dez. 2018.

FARIAS, Emilly da Silva *et al.* Instalação e operação de parques eólicos: impactos negativos para o meio ambiente e sociedade. **Brazilian Journal Of Development**. Curitiba, p. 62189-62201. ago. 2020.

FÉLIX, Sara Duarte Paiva. **Análise Das Implantações De Usinas Eólicas No Ceará De 2010 A 2016 E Comparativo Com Outros Estados**. 2017. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERNANDES, Bruna; ARRAIS, Ernano; ENCONTRO DE COMPUTAÇÃO DO OESTE POTIGUAR ECOP/UFERSA, 2017, Pau dos Ferros. **Impactos ambientais dos Parques Eólicos na região da Costa Branca Potiguar**. Pau dos Ferros: Grupo de Desenvolvimento e Simulação - Gdes, 2017. 7 p.

GANNOUM, Elbia Silva *et al.* O Desenvolvimento da indústria de Energia Eólica no Brasil: aspectos de inserção, consolidação e sustentabilidade. **Cadernos Adenauer**, [s. l], v. 3, n. 2014, p. 57-71, 15 jan. 2015.

GEOCONSULT Consultoria, Geologia & Meio Ambiente LTDA.. **Relatório de Impacto Ambiental - RIMA**: UEE Embuaca. Fortaleza: GEOCONSULT Consultoria, Geologia &

Meio Ambiente LTDA., 2011. 196 p. Disponível em: <http://www.mpce.mp.br/caomace/arquivo-digital/licenciamento-ambiental-eiarima/>. Acesso em: 7 jul. 2021.

GNOATTO, Henrique. **Análise De Viabilidade Técnica E Econômica Para Implantação De Aerogerador Em Propriedades Rurais De Cascavel, Londrina E Palmas-PR**. 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

GORAYEB, Adryane *et al.* **Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil**. Fortaleza: Edições Ufc, 2019. 304 p.

GWEC, GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind Report 2021**. Bruxelas, 2021. 80 p. Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>. Acesso em: 10 jun. 2021.

IBGE. **Panorama Cidade Trairi**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/trairi/panorama>. Acesso em: 13 jul. 2021.

KALDELLIS, John K.. The wind energy (r)evolution:: a short review of a long history. **Renewable Energy**, [s. l], p. 1887-1901, fev. 2011.

KATSAPRAKAKIS, Dimitris Al.. A review of the environmental and human impacts from wind parks.: a case study for the prefecture of lasithi, crete. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. Crete, p. 2850-2863. mar. 2012.

LIMA, Gustavo F. da Costa. O debate da sustentabilidade na sociedade insustentável. **Revista Política & Trabalho**, João Pessoa, v. 13, n. 1, p. 201-222, maio 1997.

LOUREIRO, Caroline Vitor *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. 24-38, out. 2015.

MAIA, Tiago Albuquerque. **Análise Da Inserção De Energia Eólica De Grande Porte Na Matriz Elétrica Brasileira**. 2017. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MARTINE, George; ALVES, José Eustáquio Diniz. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade?. **R. Bras. Est. Pop.**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p. 433-460, set./dez. 2015.

MARTINS, F.R. *et al.* O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São José dos Campos, v. 30, n. 1, p. 1304-1317, out. 2007.

MOURA-FÉ, Marcelo Martins de; PINHEIRO, Mônica Virna de Aguiar. Os parques eólicos na zona costeira do Ceará e os impactos ambientais associados. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 9, n. 1, p. 22-41, fev. 2013.

MRS ESTUDOS AMBIENTAIS. **Estudo de Impacto Ambiental da Central Eólica Cacimbas Em**. Fortaleza: Mrs Estudos Ambientais, 2013. 694 p. Disponível em:

<http://www.mpce.mp.br/caomace/arquivo-digital/licenciamento-ambiental-eiarima/>. Acesso em: 7 jul. 2021.

OLIVEIRA, Rafael Fialho de. **Impactos Da Energia Eólica: Impactos Ambientais Negativos Na Dinâmica Costeira Do Município De Trairi, Ceará, Brasil**. 2014. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

OLIVEIRA, Victor Hugo Holanda. **Gestão Integrada Da Zona Costeira Como Subsídio Ao Planejamento E Ordenamento Territorial De Flecheiras, Trairi, Ceará**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

PORCIUNCULA, Káthia Rosa da. **Análise dos Impactos Ambientais Causados pela Energia Eólica:** um estudo de caso no parque eólico cerro chato de santana do livramento-rs. 2018. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2018.

SALES, Karolyne Ferreira. **Análise Dos Impactos Socioambientais De Parques Eólicos E A Percepção Da Comunidade Em Diferentes Unidades Geoambientais**. 2018. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Ambientais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

TERCIOTE, Ricardo. **A Energia Eólica e o Meio Ambiente**. 2015. 7 f. Monografia (Especialização) - Curso de Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Energia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

TRAIRI, Prefeitura de. **Dados do Município**. 2021. Disponível em: <https://www.trairi.ce.gov.br/omunicipio.php>. Acesso em: 13 jul. 2021.

VASCONCELOS, Samila Sampaio. **Impactos Socioambientais Das Usinas Eólicas No Litoral Cearense**. 2013. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Departamento de Teoria Econômica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.