



**16-17 Agosto / 23**  
**PLATAFORMA DIGITAL BWP**

**Categoria 5**

# **Regulação e Comercialização**

## A ARQUEOLOGIA SUBAQUÁTICA VOLTADA AO LICENCIAMENTO DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE NO BRASIL

**Autores** Almir do Carmo Bezerra<sup>1</sup> Rafael Sebastian Medeiros Saldanha<sup>2</sup>

ANX Engenharia e Arqueologia

[arqueologia@anxengearq.com.br](mailto:arqueologia@anxengearq.com.br); [rafael@anxengearq.com.br](mailto:rafael@anxengearq.com.br)

### RESUMO

A pesquisa apresenta a aplicação de um modelo preditivo como alternativa para minimização de custos e aceleração do processo de licenciamento arqueológico em parque eólico *offshore* no Brasil, na medida que se estuda os locais indicados para implantação dos aerogeradores e demais estruturas buscando identificar locais com alto potencial arqueológico. O modelo tem como base as fichas do cadastro nacional de sítios arqueológicos, cartas náuticas e informações geoambientais de diversos órgão envolvidos nos estudos ambientais. Através das contraposições das informações levantadas foi possível constatar ritmos distintos nas discussões da iminente realidade dos empreendimentos em ambientes marinhos. A dificuldade na adaptação dos conhecimentos da Arqueologia tradicional, a falta de previsibilidade do regramento e emprego técnico das pesquisas arqueológicas subaquáticas inseridas nesse contexto são destacadas, na medida em que se vislumbra o potencial da diversidade de pesquisa arqueológica subaquática e sua contribuição na sistematização tanto no licenciamento quanto nas ações de descomissionamento dos Parques Eólicos *Offshore*.

### Palavras-chaves:

Modelos preditivos. Arqueologia preventiva. Licenciamento de parque eólico *offshore*.

### ABSTRACT

The research presents the application of a predictive model as an alternative for minimizing costs and accelerating the archaeological licensing process in an offshore wind farm in Brazil, as the locations indicated for the deployment of wind turbines and other structures are studied, seeking to identify locations with high potential. archaeological. The model is based on files from the national register of archaeological sites, nautical charts and geo-environmental information from various bodies involved in environmental studies. The difficulty in adapting knowledge from traditional Archeology, the lack of predictability in the rules and technical use of underwater archaeological research inserted in this context are highlighted, insofar as the potential of underwater archaeological research diversity and its contribution to systematization both in the licensing and decommissioning actions for Offshore Wind Farm.

---

<sup>1</sup> Arqueólogo e diretor presidente da ANX Engenharia e Arqueologia.

<sup>2</sup> Arqueólogo e gerente de projetos da ANX Engenharia e Arqueologia.

**Keywords:**

Predictive models. Preventive archaeology. Wind farm offshore licensing

**1. INTRODUÇÃO**

O desafio de licenciar projetos de grande porte, como no caso das eólicas *offshore*, do ponto de vista dos empreendedores, é a elaboração de um estudo robusto, que traga as informações adequadas no âmbito do diagnóstico socioambiental e, sobretudo, o arqueológico.

A pesquisa arqueológica no Brasil tem sido orientada por um arcabouço teórico e legislativo ([Portaria SPHAN nº 07/1988](#); [Lei Federal 3.924/1961](#); [Instrução Normativa IPHAN 001/2015](#)) que em conjunto, normatizam a atividade de pesquisa arqueológica e asseguram a necessidade de estudos arqueológicos antecedendo a implantação de grandes empreendimentos, bem como a conciliação das fases de obtenção de licenças ambientais com as da pesquisa arqueológica.

Entretanto, a estrutura regulatória e o corpo técnico das consultorias precisam se preparar para o crescente número de projetos que serão implantados nos próximos anos. Dessa forma, este artigo busca desbravar quais os principais desafios regulatórios e impasses que a geração eólica *offshore* brasileira deverá enfrentar para que sejam instaladas as primeiras turbinas no mar. Para tanto, serão apresentados os principais panoramas possíveis dentro do arcabouço arqueológico nacional no contexto das principais estruturas que compõem os parques eólicos em ambiente marinho.

Espera-se que as atividades e discussões proporcionem o conhecimento e as diretrizes que possam subsidiar a continuidade da agenda, a ser consolidada com a elaboração de uma proposta de Instrução Normativa específica, a ser emitida pelo IPHAN, cujo mote seja o Licenciamento Arqueológico de Complexos Eólicos *Offshore*.

**2. PANORAMA ATUAL REGULAMENTADO DAS PESQUISAS ARQUEOLÓGICAS SUBAQUÁTICAS E SUAS LIMITAÇÕES**

Os grandes projetos de geração de energia eólica *offshore* exigem uma estrutura que prevê movimentação de sedimento na sua porção terrestre, que seria basicamente a área ocupada pela subestação de transição *onshore*, área destinada ao traçado dos cabos e de todas as áreas destinadas às estruturas de apoio e as direcionadas à infraestrutura do projeto, como estradas de acesso privadas.

Essa porção tem sido bem definida e contemplada na Ficha de Caracterização de Atividades-FCA, que delibera sobre a necessidade, ou não, de realização de pesquisa arqueológica na área de impacto de determinado empreendimento. Geralmente são enquadrados com o nível III, ou seja, de média e alta interferência sobre as condições vigentes do solo, grandes áreas de intervenção, com limitada ou inexistente flexibilidade para alterações de localização e traçado.

A partir da entrada na matriz energética de empreendimentos no mar que utilizam a energia eólica e com a abertura de processos de licenciamento dessa tipologia, de responsabilidade exclusiva do IPHAN

Sede, o corpo técnico precisa propor uma agenda para, em médio ou longo prazo, construir um quadro normativo de proteção ao patrimônio arqueológico de excelência técnica e jurídica, integrando, de forma participativa, os diversos setores e instituições envolvidos em todo o fluxo de tomada de decisão. Entende-se que a troca de experiências, conhecimentos técnicos e boas práticas podem motivar modelos regulatórios seguros e transparentes, de forma a potencializar futuros investimentos em geração eólica *offshore* na matriz elétrica brasileira, bem como mitigar possíveis impactos sobre os sítios arqueológicos subaquáticos.

Nesta perspectiva, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN, dispõe de, pelo menos, 2 instrumentos legais para o enquadramento desses empreendimentos no âmbito da pesquisa arqueológica preventiva: a Instrução Normativa nº 001/2015 e a Lei Complementar nº 410/2011.

- **Instrução Normativa IPHAN nº 001/2015:**

*Art. 4º Nos casos de licenciamento ambiental federal, de que trata o art. 7º, inciso XIV, da Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, assim como quando houver necessidade de pesquisa em meio subaquático, o IPHAN receberá a solicitação em sua Sede Nacional.*

- **Lei Complementar 410/2011:**

*Art. 7º: São ações administrativas da União:*

*IV - Promover o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades:*

*b) localizados ou desenvolvidos no mar territorial, na plataforma continental ou na zona econômica exclusiva.*

Muitas dessas práticas levam em consideração o cumprimento às regras internacionais referentes à proteção e gestão ambiental do patrimônio cultural subaquático, como: a Proteção e Gestão do Patrimônio Cultural Subaquático – ICOMOS 1996; a Carta Internacional para Gestão do Patrimônio Arqueológico – ICOMOS, 1999; Convenção da UNESCO Para a Proteção do Patrimônio Cultural Subaquático – UNESCO, 2001.

Entretanto, em certa medida, esses preceitos legais podem gerar insegurança jurídica para investidores do setor, quando não definem com exatidão o nível de aprofundamento dos estudos arqueológicos subaquáticos na fase de licença prévia, ocasionando imprevisibilidade para as empresas de consultoria na elaboração de orçamentos e recrutamento de materiais e profissionais especializados. Para uma mesma área pode ser exigida a utilização do sonar de varredura lateral, uma prospecção visual a partir de mergulhos ou simplesmente um modelo preditivo baseado em cartas náuticas com o zoneamento arqueológico dos sítios submersos para a avaliação de possíveis impactos nos sítios arqueológicos subaquáticos.

## 2.1 Patrimônio Cultural Subaquático

O patrimônio arqueológico subaquático, assim como em terra, precisa ser salvaguardado pelos domínios das leis. Entendendo-se que:

“o patrimônio, ou herança, arqueológico faz parte do conjunto de bens culturais produzidos pelos seres humanos e que são, em determinado momento histórico, considerados significativos, e cuja preservação proteção são reivindicadas, pelo menos por parte da sociedade, como relevantes (SCHANN, 2007, p. 111)”.

Assim também atesta a Carta Internacional para Gestão do Patrimônio do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) decidindo que o patrimônio arqueológico:

“compreende a porção do patrimônio material para a qual os métodos da arqueologia fornecem os conhecimentos primários. Engloba todos os vestígios da existência humana e interessa a todos os lugares onde há indícios de atividades humanas, não importando quais sejam elas; estruturas e vestígios abandonados de todo tipo, na superfície, no subsolo ou sob as águas, assim como o material a eles associados (CARTA DE LAUSANNE, 1990, p. 2)”.

Apesar da tímida inserção do patrimônio cultural submerso na Carta de Lausanne em 1990, foi em Sofia<sup>3</sup>, capital da Bulgária, que esta foi ratificada e complementada pela Carta Internacional Sobre a Proteção e Gestão do Patrimônio Cultural Subaquático, onde este passou a ser compreendido como “o patrimônio arqueológico que se encontra em um meio subaquático ou que tenha sido removido dele. Ele inclui os sítios e estruturas submersas, zonas de naufrágios, restos de naufrágios e seu contexto arqueológico e natural” (CARTA DE SOFIA, 1996, p.2).

Antagonicamente a muitos países, o Brasil não é signatário da Convenção da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) elaborada em 2001, que versa sobre a Proteção do Patrimônio Cultural Subaquático<sup>4</sup>, pois o Estado entende que esta convenção afeta a soberania nacional no que compete a territorialidade marítima (SARTORI, 2015).

A Convenção traz em seu bojo a definição dos princípios básicos para a proteção do patrimônio cultural subaquático, as disposições para um esquema de cooperação internacional e fornece orientações práticas para lidar com esse patrimônio (UNESCO, 2001).

Debruçando-se sobre o regramento europeu para o licenciamento de empreendimento *offshore*, algumas reflexões se fazem necessário para o avanço da implantação desses projetos por aqui:

---

<sup>3</sup> Ratificada pela 11ª Assembléia Geral realizada em Sofia, Bulgária, de 5 a 9 de outubro de 1996.

<sup>4</sup> “São todos os vestígios da existência humana que tenham um caráter cultural, histórico arqueológico, que tenham estado embaixo d’água, parcial ou totalmente, de forma periódica ou contínua, por pelo menos durante cem anos” – Convenção Sobre a Proteção do Patrimônio Cultural Subaquático, Artigo 1º, Definições (UNESCO, 2001).

- Como é a relação entre a previsibilidade, planejamento e avaliação de impactos aos bens arqueológicos de Complexos Eólicos *Offshore* no Brasil?
- Qual o fluxo de etapas decisórias necessárias para autorização ou licenciamento desses empreendimentos?
- Quais as fontes de informações existentes para encontrar referências acerca da liberação das áreas de potencial? O uso de sonar ou prospecção visual?
- Quais as normas legais aplicadas nos países europeus para a efetiva mitigação de impactos de Complexos Eólicos *Offshore*?



**Foto 1:** Atividade de prospecção linear na área adjacente ao Fundeadouro da Feira de São Joaquim, Salvador – BA

**Fonte:** ANX Engenharia e Arqueologia, 2020

Logo, pretende-se chamar a atenção dos órgãos licenciadores, sobretudo o IPHAN, na tarefa de promover a discussão para proporcionar os meios para a aplicação dos métodos da arqueológica subaquática no licenciamento de parques eólicos *offshore*, definindo com clareza quais os estudos serão aplicados nas suas várias fases. A escassez na disseminação de informações sobre essa temática de pesquisa em ambientes aquáticos tem sido um elemento causador de preocupação entre os profissionais. Nos eventos do setor de energia, destinados às discussões e estratégias ambientais sobre a elaboração de novos projetos *offshore*, tem se restringido a outros critérios socioambientais mais relevantes na cadeia da capacidade eólica marinha, esquecendo-se dos efeitos sobre o turismo, patrimônio histórico e, sobretudo, o arqueológico.

## 2.2 Abrangência de pesquisa arqueológica em ambientes aquáticos

A Arqueologia Subaquática se caracteriza por efetuar pesquisas em sítios submersos. A princípio, a nível mundial, os sítios de naufrágios compunham quase que a totalidade das pesquisas. No Brasil não foi diferente, enquanto os demais sítios submersos continuam a ser pesquisados de forma insipiente (FERREIRA; RIOS, 2017).

Segundo o olhar de Georg Fletcher Bass, a Arqueologia Subaquática é a mesma arqueologia desenvolvida em terra, mas com uma série de aparelhos e acessórios adaptados ao trabalho subaquático. É um ramo da Arqueologia que tem menos de cinquenta anos de existência no Oriente, cujos precursores, desenvolveram métodos e técnicas adaptados para a pesquisa submersa no sítio de naufrágio Cabo Gelidônia, em Yassi Ada, Turquia (BASS, 1969, 2006). Quem primeiro adaptou os métodos e técnicas terrestres para a Arqueologia Subaquática foi George Bass, um arqueólogo americano, do Texas A&M, ao escavar um sítio de naufrágio em Yassi Ada, na Turquia, nos anos de 1960 (BASS, 1969).

Com a ampliação das pesquisas, novos métodos de trabalho foram adotados e mudanças nos paradigmas dessa área do conhecimento das humanidades foram formados. Como ocorre em outras áreas do conhecimento, é natural que surjam debates conceituais acerca dos ambientes de estudo da Arqueologia Subaquática e dos domínios compreendidos pela temática. As discussões teóricas recaíram sobre os termos Arqueologia Marítima, Arqueologia Náutica e Arqueologia Naval. Tais conceitos são complementares, mesmo que possuam abordagens específicas (FERREIRA; SOUZA, 2017).

A *Arqueologia Marítima* teve como pioneiro, na década de 1970 o arqueólogo Keith Muckelroy, propondo o estudo dos vestígios da cultura material marítima (navios/embarcações, equipamentos, cargas, passageiros e tripulações) aliada aos respectivos contextos sistêmicos (econômicos, sociais e políticos) de forma que possam relacionar-se entre si. Muckelroy (1978) também se preocupou em analisar como essas variáveis poderiam influenciar nos processos depositários dos sítios submersos em formação.

A *Arqueologia Náutica*, de acordo com a definição da UNESCO (2016), estuda as técnicas construtivas dos navios e sua utilização. Já a *Arqueologia Naval* é mais abrangente que o estudo de navios / embarcações, pois envolve técnicas e estruturas de apoio da navegação, tais como: sinalização náutica, portos etc., além de estudos das rotas marítimas (ALVES; MANTAS, 2015).

Desta maneira, desde que haja testemunhos de contato do homem com o meio aquático, as Arqueologias Marítima, Naval e Náutica também podem ser realizadas em meio terrestre e/ou de interface com a água, diferindo da Arqueologia Subaquática, onde o objeto precisa estar submerso.

Com o aprofundamento dos estudos científicos da Arqueologia Subaquática verifica-se, também, que outros tipos de sítios, além dos de naufrágios, passaram a ganhar espaço no âmbito da arqueologia brasileira, tais como os: Terrestres Submersos, Depositários ou de Abandono e Santuários, Rituais ou de Oferendas, evidenciando a diversidade de temáticas que ainda precisam ser ampliadas dentro do campo de pesquisa.

Os sítios de Naufrágios representam a cultura material de diversos povos marítimos, estuarinos, ribeirinhos ou lacustres expressa na forma de navios e embarcações dos mais variados tipos que soçobraram ao redor do mundo.

Os sítios Terrestres Submersos caracterizam-se como edificações quaisquer ou expressões de gravuras rupestres efetuadas em terra firme, mas por motivos diversos, naturais ou antrópicos, passaram a ficar inundadas de forma definitiva ou periódica.

Os sítios de Abandono ou Depositários são formados pelos vestígios de cargas mercantis ou de guerra quaisquer perdidas em fainas de transbordo, palamentas diversas que foram descartadas por quebra, defeito ou desuso, bem como aparelhos e acessórios de navios ou embarcações de tipologias diferentes que foram perdidas ou alijadas por motivos diversos, normalmente em áreas de fundeio (marítima, estuarina, ribeirinha ou lacustre).

No que concerne aos sítios Rituais ou de Oferendas, também conhecidos como sítios Santuários, são formados pelo depósito intencional de artefatos diversos em corpos d'água como oferendas a deuses ou entidades, em ritos próprios e com especificidade de vestígios.

A escassez na disseminação de informações sobre essas outras temáticas de pesquisas realizadas em ambientes aquáticos é um elemento que deve causar preocupação entre os profissionais. Deve, desse modo, servir de ponto de partida para que também se pesquisem outros tipos de sítios subaquáticos, tão importantes quanto os de naufrágios.

### **3. ATIVIDADES TÉCNICAS SISTEMÁTICAS NO LICENCIAMENTO DE EÓLICAS *OFFSHORE***

A pesquisa arqueológica subaquática aplica técnicas e equipamentos específicos com objetivo de investigar e registrar os segmentos submersos em estudo. Métodos não invasivos, como prospecção visual, sonar e magnetometria, sendo auxiliados, em alguns casos, por veículos subaquáticos. É possível elencar uma sequência e/ou possibilidades de aplicações, de acordo com a realidade de cada região pesquisada, de algumas etapas de pesquisa.

#### **3.1 Levantamento bibliográfico**

A atividade do levantamento bibliográfico contempla as buscas diretamente relacionadas à região ou setor de interesse. Distintas fontes de informação, como artigos científicos, livros, teses, dissertações, relatórios técnicos, devem ser consultadas. As fontes podem ser acessadas em bibliotecas digitais, plataformas de pesquisa acadêmica, bases de dados do IPHAN, como o Cadastro Nacional de Sítios Arqueológicos. Para o levantamento específico de sítios arqueológicos, a base de dados georreferenciados do IPHAN pode ser o passo inicial.

As cartas náuticas podem ser utilizadas para a identificação de áreas potencialmente arqueológicas, uma vez que elas apontam os setores com histórico de naufrágios. As cartas ainda podem ser atualizadas com as informações de identificação de sítios arqueológicos já cadastrados.

#### **3.2 Estabelecimento de malha de prospecção**

Após o levantamento dos dados bibliográficos e reduzido a área de pesquisa, pode ser aplicada a malha de prospecção subaquática. A malha de prospecção realiza o mapeamento dos setores objetos de estudo, definindo pontos reconhecíveis que deverão ser investigados.

A malha de prospecção é uma etapa essencial para o reconhecimento de ambientes marinhos e identificação de possíveis estruturas arqueológicas.

Essa etapa compreende a utilização de equipamentos de sonar e/ou magnetômetro construção de dados imagéticos da área pesquisada. A magnetometria é uma técnica utilizada para identificação e mapeamento de campos magnéticos, captando a direção e intensidade. É comumente utilizado em prospecções arqueológicas para identificar objetos metálicos enterrados. O sonar é um instrumento utilizado para gerar imagens, através de ondas sonoras, de objetos em ambientes subaquáticos. É possível citar o sonar de varredura lateral, capaz de identificar objetos com detalhes e com grande volume, como naufrágios. Já o sonar de imagem é eficiente na representação imagética de objetos, o que pode permitir uma prévia classificação do sítio arqueológico.



**Foto 2:** Exemplo de material arqueológico identificado. Urinol – Faiança fina com decoração em transfer azul (séc. XIX). Salvador – BA.

**Fonte:** ANX Engenharia e Arqueologia, 2020

Todavia, destaca-se que a utilização dos equipamentos supracitados possui limitações. É possível que objetos e estruturas menores não sejam captadas com sua utilização, e portanto, é necessária a realização de mergulhos de exploração ou prospecção visual para registrar esses detalhes arqueológicos que podem definir a classificação dos sítios arqueológicos submersos, além da coleta amostral de coleção cadastrada.

### 3.3 Sinalização de áreas

A etapa de sinalização de áreas é relevante para proteger, através da comunicação, e divulgar sobre a existência e importância do sítio arqueológico em determinada região. A instalação de boias de sinalização ou placas que indiquem a presença do sítio subaquático, sejam afixadas no leito do mar ou em superfície próxima, com informações sobre o sítio e as limitações em seu acesso; a publicação da pesquisa em setores interessados, como o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, centros acadêmicos, núcleos de mergulho entre outros.

A sinalização é uma ação necessária e fundamental para garantir a preservação do bem arqueológico subaquático e precisam de contributos legais para a sua execução e manutenção, proporcionando mais visibilidade e conhecimento dos potenciais arqueológicos em ambientes marinhos.

#### **4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

O levantamento bibliográfico e o cruzamento das informações acerca dos marcos regulatórios e a sistematização técnica no licenciamento ambiental, tendo como mote a pesquisa arqueológica, apontaram para lacunas regimentais que norteiem os seus estudos no âmbito do licenciamento de empreendimentos Eólicos *Offshore*. Apesar dos esforços dos órgãos reguladores, foi possível constatar ritmos distintos nas discussões da iminente realidade dos empreendimentos em ambientes marinhos. Por um lado, a celeridade nas discussões sobre potencial energético e suas atribuições logísticas e estruturais. Por outro lado, a morosidade na adaptação dos conhecimentos e emprego técnico das pesquisas arqueológicas subaquáticas inseridas nesse contexto.

O potencial da diversidade de pesquisa arqueológica subaquática e sua contribuição na sistematização tanto no licenciamento quanto nas ações de descomissionamento dos Complexos Eólicos *Offshore*.

#### **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O principal objetivo deste artigo versa sobre os desafios regulatórios e técnicos que trazem mais segurança jurídica para os empreendimentos *offshore*.

O licenciamento ambiental de Complexos eólicos *offshore* contempla distintos estudos para garantir que o empreendimento a ser instalado e que minimize o impacto ao meio ambiente marinho, como alterações na fauna e flora, na qualidade da água e, especificamente objeto desse ensaio, o patrimônio arqueológico em meio subaquático.

Desta feita, foi possível observar uma latência no arcabouço legal e organizacional no que se refere aos meios que possibilitem e garantam a pesquisa arqueológica na instalação de empreendimentos eólicos *offshore*. É imperativa a atualização e adaptação das normas e regulamentações ambientais vigentes sobre o aspecto da pesquisa arqueológica garantidoras de respaldo técnico para a instalação dos empreendimentos supramencionados.

A apresentação de modelos preditivos na avaliação de potencial arqueológico em ambiente subaquático também é um passo inicial para a discussão desse aspecto que a cada dia torna-se mais iminente na integração do licenciamento ambiental em Complexos Eólicos *Offshore*.

#### **REFERÊNCIAS**

ALVES, T; MANTAS, V. 2015. **Arqueologia Marítima, Naval Náutica e Subaquática: Uma proposta conceitual**. Al Madan online. N. 20, Tomo 1. julho.

ANX Engenharia e Arqueologia. **Relatório da perícia técnica arqueológica (terrestre e subaquática) na área da 1ª etapa das obras de requalificação da feira de São Joaquim em Salvador.** Salvador, Bahia, 2020.

BASS, G. F. 1969. **Arqueologia Subaquática.** Lisboa: Verbo.

FERREIRA, I; RIOS, C. 2017. **Arqueologia Subaquática:** linhas de pesquisa científica no Brasil entre 1970 e 2014. Pelotas: Caderno Lepaarq. Vol 14, N. 27.

IBAMA. **Avaliação de Impacto Ambiental de Complexos Eólicos Offshore.** Mapeamento de modelos decisórios ambientais aplicados na Europa para empreendimentos *Offshore*. Organização Rafael Monteiro de Vasconcelos, 2019.

ICOMOS. **Carta de Lausanne.** Carta para a proteção e a gestão do patrimônio arqueológico, 1990.

ICOMOS. **Carta Internacional sobre a proteção e gestão do patrimônio cultural subaquático,** Sófia, 1996.

ICOMOS. **Carta Internacional para Gestão do Patrimônio Arqueológico,** 1999.

IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Lei Nº 3.924 de 26 de julho de 1961. Brasília, 1961.

\_\_\_\_\_. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Portaria Nº 07, de 01 de dezembro de 1988. Brasília, 1988.

\_\_\_\_\_. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Instrução Normativa Nº 001, de 25 de março de 2015. Brasília, 2015.

LIMA, Renan Matheus de. **Arqueologia subaquática e a segunda guerra mundial:** uma proposta de zoneamento arqueológico dos sítios submersos na costa potiguar (1942-1945), Natal, 2022.

MUCKELROY, K. **Maritime Archaeology.** London: Cambridge University Press. 1978.

OLIVEIRA, Priscila M.; PÁDUA, Aline I.; IANNIRUBERTO, Marco; PINHEIRO, Arthur N. D. V.; ANDRADE, João F. P.; SANTOS, Luís F. F. D. **Levantamento geofísico aquático para fins arqueológicos.** Sociedade Brasileira de Geofísica, 2014.

SARTORI, Marcelo Vanzella. **Uma interpretação da Convenção UNESCO de 2001 sobre proteção do patrimônio cultural subaquático:** Reflexões acerca do Direito Internacional e do Direito Brasileiro Tese (Doutorado em Direito). Universidade Católica de Santos. p. 247. 2015.

UNESCO. **Convenção sobre a proteção do patrimônio cultural subaquático,** 2011.

UNESCO. **Manual de la UNESCO para actividades dirigidas al Patrimonio Cultural Subacuático.** (B. E. Dr. Ulrike Guèrin, Ed.) Paris, França, 2001.

## **Eólicas onshore e offshore no planejamento energético: Como estimar a contribuição das fontes**

**Autores:** Paula Monteiro Pereira<sup>1</sup>, Gustavo Pires da Ponte<sup>2</sup>, Josina Saraiva Ximenes<sup>3</sup>, e Anderson da Costa Moraes<sup>4</sup>

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

[gustavo.ponte@epe.gov.br](mailto:gustavo.ponte@epe.gov.br), [jsaraivaximenes@gmail.com](mailto:jsaraivaximenes@gmail.com), [paula.pereira@epe.gov.br](mailto:paula.pereira@epe.gov.br),  
[anderson.moraes@epe.gov.br](mailto:anderson.moraes@epe.gov.br)

### **RESUMO**

Dado o caráter de geração variável e não controlável da fonte eólica, onshore e offshore, a representação desta no planejamento prescinde de uma metodologia aderente à sua contribuição energética de acordo com o seu comportamento nos locais onde os empreendimentos têm maior potencial de serem instalados no país. Além disso, a extensão temporal e a granularidade dos dados são fatores fundamentais para garantir a representatividade dos estudos em relação à operação futura.

Desta forma, este artigo tem por objetivo, apresentar as metodologias e as premissas utilizadas pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, para obtenção de dados de geração representativos das usinas eólicas onshore e offshore para o longo prazo, além da estimativa de geração de energia, em MWh e em base horária, considerando o histórico de ventos.

### **Palavras-chaves:**

Eólica onshore, eólica offshore, planejamento energético

### **ABSTRACT**

As it is a source of variable and non-controllable generation, representing the wind generation, onshore and offshore, in the energy planning requires a cohesive methodology for its energy contribution according to the wind profile in the places with greater potential for installing these technologies in the country. In addition, the temporal extension and granularity of the data are fundamental factors to guarantee the representativeness of the studies in relation to the future operation.

Thus, this article aims to present the methodologies and assumptions, used by Empresa de Pesquisa Energética-EPE, for obtaining representative generation data from onshore and offshore wind farms for the long term, in addition to estimating energy generation, in MWh and on an hourly basis, considering the wind history data.

### **Keywords:**

Onshore wind, offshore wind, energy planning.

## 1. INTRODUÇÃO

Assim como para eólica onshore, a geração eólica no mar (offshore) também está sujeita à variabilidade climática. No setor elétrico, essa influência é bastante evidente nas hidroelétricas e, com o aumento da participação de outras fontes renováveis, como eólica e solar, a geração de eletricidade se torna mais dependente do clima.

Buscando diminuir as incertezas das estimativas de geração, é importante contar com séries históricas com período extenso e qualidade confiável. Pela ausência de uma base de dados climatológicos de referência para a simulação do parque gerador eólico brasileiro, diversos estudos vêm sendo realizados por órgãos públicos e privados utilizando fontes de dados distintas para simulação da geração. Este cenário prejudica a reprodutibilidade e a comparação dos resultados e torna-se um obstáculo para o avanço das pesquisas na área. Tal situação se torna ainda mais evidente no caso das eólicas offshore, seja pelo seu ineditismo ou pela ausência de medições de vento no mar brasileiro.

Nos estudos de planejamento da geração, a representação da fonte eólica é feita avaliando sua expectativa de geração mensal e horária de usinas existentes e futuras. Para tanto, é necessário dispor de dados com discretização minimamente horária para a adequada representação das variabilidades do recurso eólico. Assim, neste artigo serão abordadas as premissas para representação destas usinas futuras, que são utilizadas nos estudos de planejamento da expansão da geração e da transmissão no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB).

Para estas análises foram consideradas bases de dados de reanálise (MERRA 2 e ERA 5, da NASA e do ECMWF respectivamente), além dos dados meteorológicos medidos nas torres anemométricas dos parques eólicos em operação nas regiões Sul e Nordeste do país. Para as futuras usinas offshore foram consideradas as áreas mais promissoras nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, tomando por base as localizações dos projetos submetidos ao IBAMA. A partir do conhecimento do recurso eólico, foi realizada a sua conversão em geração elétrica, tomando por base as características técnicas dos aerogeradores mais recentes e que representem a tendência tecnológica para as futuras usinas. Para tanto, foram consideradas as informações dos projetos candidatos aos leilões de energia para eólicas onshore e, no caso das offshore, foi considerada uma turbina de 12<sup>o</sup>MW, representativa dos parques que estão sendo construídos atualmente no mundo. As bases de dados utilizadas são abaixo descritas.

## 2. BASES DE DADOS

**Sistema AMA** - A base de dados do Sistema de Acompanhamento de Medições Anemométricas é implementada desde 2011 com o envio de medições anemométricas e climatológicas no local dos parques vencedores de leilão durante todo o período de vigência do contrato deles.

As medições de pressão, temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento são registradas a cada 10 minutos e enviadas quinzenalmente à EPE. Atualmente, são enviados dados de mais de 650 estações de medição instaladas no Nordeste e no Sul, como mostrado na Figura 1.

Na elaboração da metodologia apresentada para as eólicas onshore, foram utilizadas apenas estações com medições entre 01/01/2017 e 31/12/2019 (3 anos), o que diminuiu a amostra para 462 torres anemométricas, conforme mostrado na

Tabela 1.

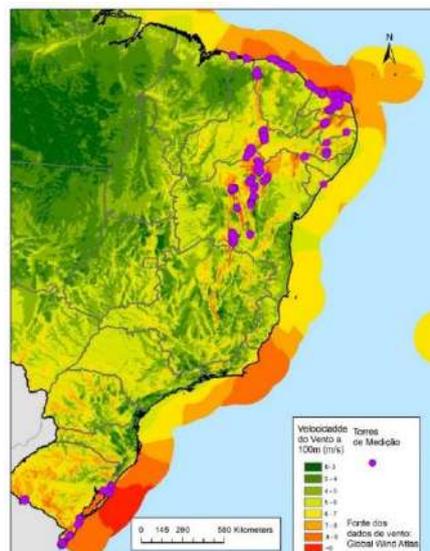


Figura 1 - Estações do Sistema AMA

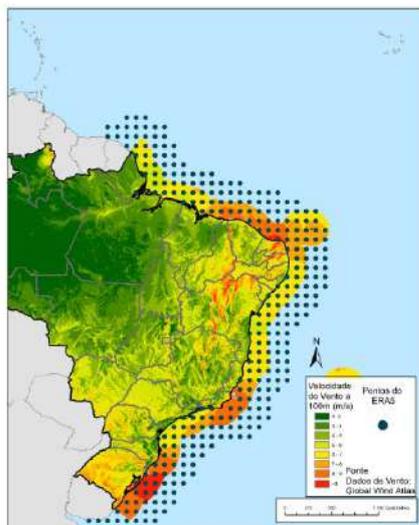
Tabela 1 – Desagregação das Estações por Estado

Estado	Estações	Potência (MW)	Participação
MA	8	221	2%
PI	52	1.412	12%
CE	60	1.420	12%
RN	106	2.926	26%
PB	3	95	1%
PE	29	757	7%
SE	1	35	0%
BA	126	2.960	26%
RS	77	1.630	14%
<b>TOTAL</b>	<b>462</b>	<b>11.454</b>	<b>100%</b>

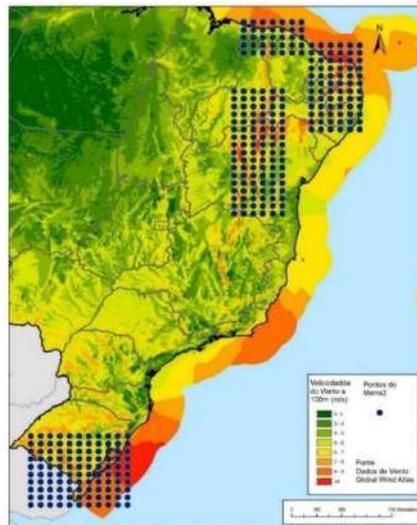
**Sistema AEGE** - O Sistema de Acompanhamento de Empreendimentos Geradores de Energia é o principal banco de informações de projetos de geração da EPE. Esta base possui informações de todos os empreendimentos cadastrados para participar dos leilões de energia do ACR, considerando aspectos elétricos, ambientais, energéticos e econômicos. Para as simulações foram utilizadas as informações de Fator de Capacidade (FC) das eólicas onshore que foram habilitadas nos leilões e os modelos de aerogerador em cada parque eólico.

**MERRA 2** - A base de dados MERRA 2 (*Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications*) é uma base pública disponibilizada pela NASA e muito usada no setor eólico [1]. O MERRA-2 possui uma grade com 576 pontos na direção longitudinal e 361 pontos na latitudinal, correspondendo a uma resolução de 0,625°x0,5°, cobrindo todo o planeta. Cada ponto contém dados climáticos em base horária desde 1981. Nas simulações, foram usados dados anemométricos correspondentes às Regiões Nordeste e Sul (Figura 3).

**ERA 5** - A base de dados ERA 5 é uma base pública disponibilizada pelo ECMWF que possui resolução horizontal global de 31 km. Os dados possuem frequência horária, velocidade do vento a 100



metros e período a partir de 2000. Para simulações, a ERA 5 foi nas análises de offshore, conforme apresentado na Figura 2.



partir das bases de dados eólicas na

Figura 3 - Dados ERA 5: pontos utilizados

Figura 2 - MERRA 2: pontos utilizados

O Erro! Fonte de referência não encontrada. Quadro 1 consolida as bases de dados usadas e suas principais características.

**Quadro 1 – Resumo dos dados utilizados**

Base de Dados	Variáveis usadas	Altura	Período usado	Quantidade de pontos	Resolução temporal
AMA	Velocidade do vento, Pressão, Temperatura e Umidade	Variável de acordo com o parque eólico	2017 a 2019	462 estações	10 minutos
AEGE	Fator de capacidade, Dados de projetos	Não se aplica	Média de longo prazo	362 parques eólicos	Mensal
MERRA 2	Velocidade do vento e Temperatura	50 m	1981 a 2020	Resolução de 50 km	Horária
ERA 5	Velocidade do vento, Pressão, Temperatura e Umidade	100 m	2000 a 2017	Resolução 31 km	Horária

### 3. METODOLOGIA PARA EÓLICA ONSHORE

Para as eólicas onshore, os dados de geração, em MWh, foram obtidos por simulação da geração dos parques eólicos a partir dos dados do AMA. Aplicando-se as médias de 10 minutos da velocidade de vento e demais parâmetros climáticos nas curvas de potência dos modelos de aerogeradores, estima-se a geração de um único gerador posicionado no local das medições. Admite-se que esta geração calculada pode ser escalonada pelo número de máquinas instaladas no parque e é representativa da geração de todo o parque eólico.

Os modelos de aerogeradores utilizados nas simulações mostrados na Tabela 2, são oriundos da base de dados de projetos do AEGE, considerando apenas os modelos que deverão ser instalados nos próximos anos, de acordo com as tendências de mercado.

**Tabela 2 - Aerogeradores considerados na análise**

Fabricante	Modelo	Diâmetro de rotor (m)	Potência (MW)
GE	GE158	158	5,5
Siemens Gamesa	SG145	145	4,8
Siemens Gamesa	SG170	170	6,2
Vestas	V126	126	3,3
Vestas	V150	150	4,2
WEG	AGW147	147	4,0

Os valores calculados de energia foram consolidados por hora e subsistema de interesse: Norte, Nordeste e Sul. Desta forma, foram estimadas 3 séries de geração horária entre os anos de 2017 e 2019. Buscando uma análise prospectiva com segurança, é necessário obter uma série de longo prazo que represente com precisão as usinas eólicas futuras. Portanto, as séries horárias foram extrapoladas para um maior período utilizando a base de dados do MERRA 2.

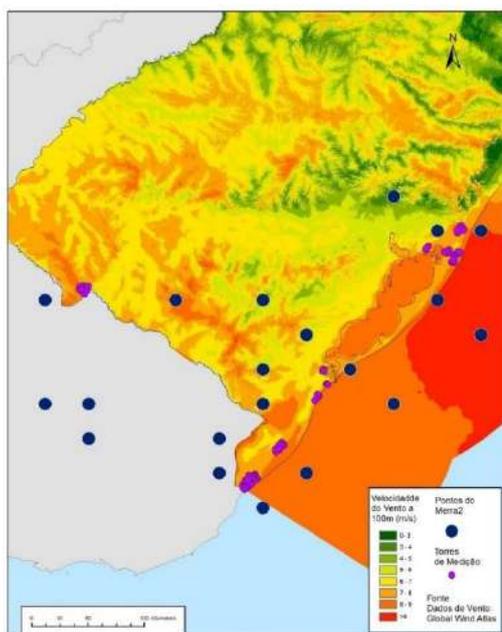


Figura 4 – Subsistema Sul

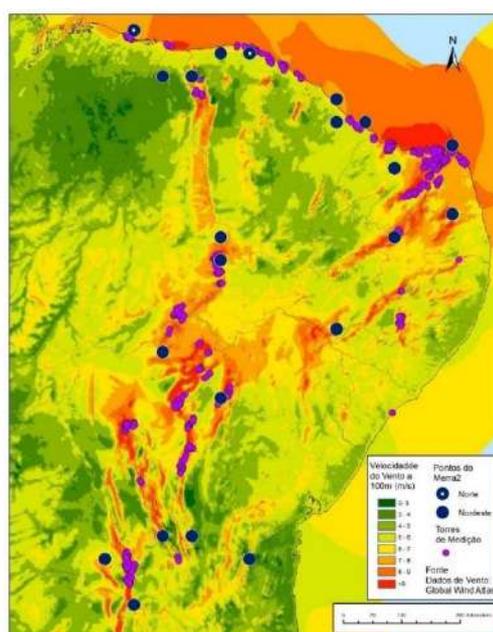
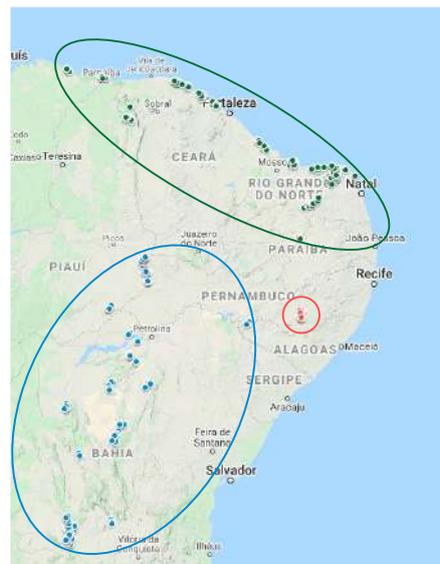


Figura 5 – Nordeste e Norte

Em seguida, os parques eólicos foram separados em regiões conforme sua sazonalidade e cada região foi dividida em sub-regiões, de acordo com suas características horárias no caso do Nordeste e Sul. Para avaliar a similaridade entre os parques, foram calculadas as correlações entre as 462 estações de medição do Sistema AMA. Seguem abaixo os resultados e as características mensais e horárias de cada região.

Na primeira etapa, a Região Nordeste foi dividida em 3 regiões como pode ser visto na Figura 6. A região com pontos verdes, denominada Litoral, compreende os parques desde o Maranhão até a Paraíba. A região em azul corresponde aos parques do Interior e abrange a Bahia, sul do Piauí e oeste de Pernambuco. Já a região em vermelho corresponde a alguns parques de Pernambuco na região de Garanhuns que possuem comportamento muito diferente das outras 2 regiões. Todos os gráficos mostrados estão normalizados pela geração máxima.



**Figura 7 - Divisão do Nordeste em sub-regiões**

**Figura 6 - Regiões do Nordeste: Comportamento Mensal**

Apesar de comportamentos mensais semelhantes, quando se observa o perfil horário, percebem-se que diferenças entre os parques da mesma região. Por isso, as regiões, quando necessário, foram divididas em sub-regiões, conforme mostrado a seguir. O Interior do Nordeste foi dividido em 5 sub-regiões:

Já o Litoral do Nordeste foi dividido em 4 sub-regiões. Note-se neste caso que nem sempre os parques da mesma sub-região estão próximos. A sub-região 2 (verde), por exemplo, é formada por parques do litoral do Maranhão, Ceará e Rio Grande do Norte.

Na região de Garanhuns não há diferença no perfil horário dos parques, mostrado na Figura 9.

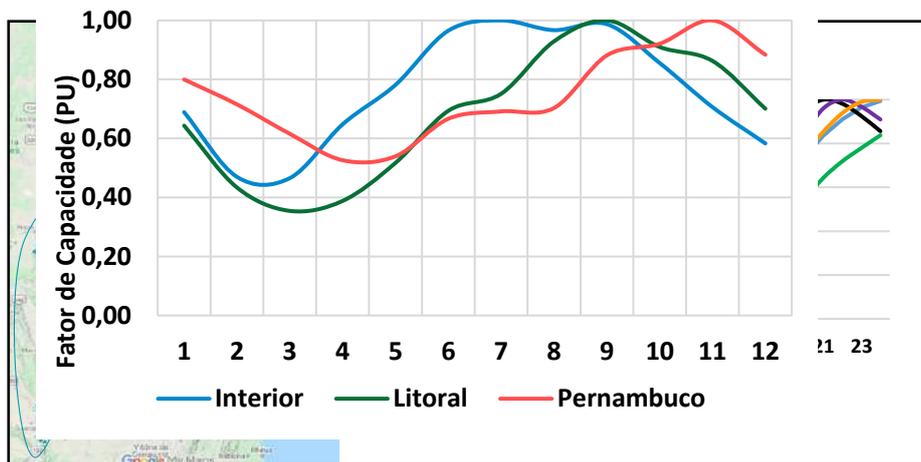


Figura 8 - Sub-regiões do Interior do Nordeste

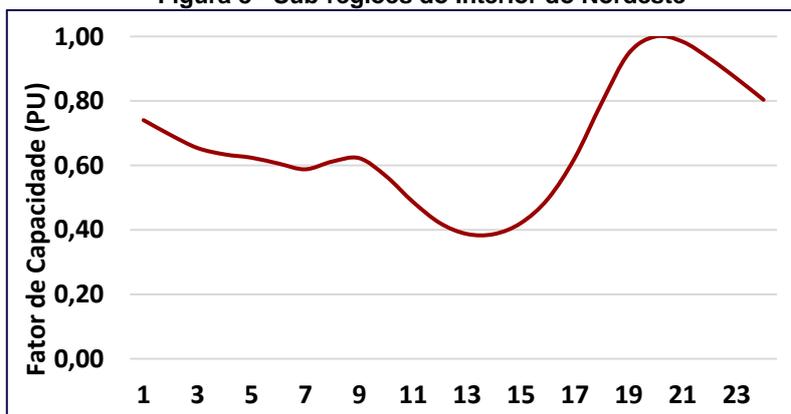


Figura 9 - Garanhuns/PE: Comportamento Horário

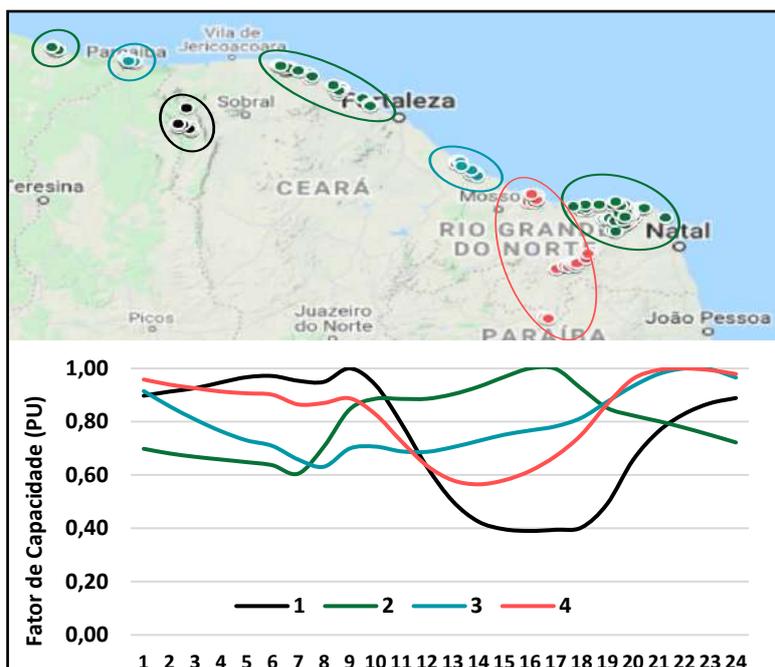


Figura 10 - Sub-regiões do Litoral do Nordeste

Os parques da Região Sul também foram divididos em três regiões: A região em vermelho corresponde aos parques do Interior do Rio Grande do Sul. Já o litoral foi dividido em duas regiões diferentes.

Na Região Sul, o vento não possui um comportamento parecido durante dias diferentes. Desta forma, não existe um perfil horário típico como ocorre com os ventos do

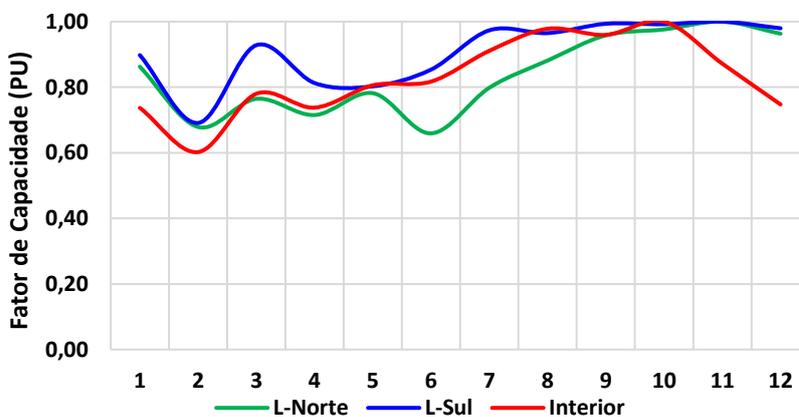


Figura 11 - Regiões do Sul: Comportamento Mensal

Nordeste. Por isso, não há necessidade de dividir as regiões em sub-regiões.

A contribuição energética mensal da eólica onshore pode ser estimada a partir dos fatores de capacidade típicos dessa fonte nos diferentes subsistemas, obtidos a partir dos dados dos projetos habilitados nos leilões de energia do ambiente regulado.

A primeira etapa deste processo foi a definição da amostra a ser utilizada. Como a tecnologia utilizada para geração de energia eólica vem se desenvolvendo muito nos últimos anos, foram usados apenas projetos habilitados cujos aerogeradores se enquadram no grupo de modelos mais recentes, de acordo com a Tabela 3. A amostra utilizada considerou 664 parques do Nordeste, 100 do Sul, 54 do Sudeste/Centro-Oeste e 3 do Norte.

Após a definição da amostra, a segunda etapa tratou do cálculo do Fator de Capacidade mensal de cada empreendimento. A partir dos dados disponibilizados do AEGE, garantia física anual em base P90 e produções certificadas mensais em base P50, foram ajustados o P90 de acordo com os valores de P50 mensais, obtendo-se valores de P90 mensais de cada empreendimento. A partir destes dados, foram calculados os fatores de capacidade mensais (Figura 13).

**Tabela 3 - Aerogeradores considerados para os fatores de capacidade mensais**

<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Diâmetro de rotor (m)</b>	<b>Potência (MW)</b>
GE	GE158	158	5,5
GE	GE158	158	5,3
GE	GE158	158	4,8
Nordex	N149	149	5,5
Nordex	N163	163	5,5
Nordex	N163	163	5,7
Siemens Gamesa	SG145	145	4,8
Siemens Gamesa	SG170	170	6,0
Siemens Gamesa	SG170	170	6,2
Vestas	V136	136	4,2
Vestas	V150	150	4,2
Vestas	V150	150	4,0
Vestas	V150	150	4,5
WEG	AGW147	147	4,2
WEG	AGW147	147	4,0

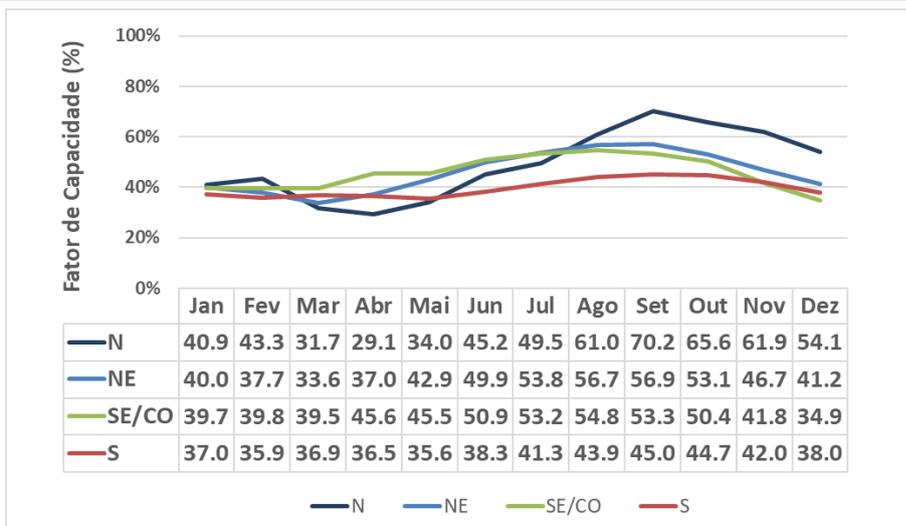


Figura 13 - Eólica *onshore*: Fator de capacidade mensal por subsistema

Nota-se que os resultados relativos aos subsistemas SE/CO e N possuem uma amostra limitada. Desta forma, estes dados são coerentes apenas com os locais específicos cadastrados no Sistema AEGE. Já os resultados dos subsistemas NE e S são representativos do comportamento médio destas regiões.

#### 4. METODOLOGIA PARA EÓLICA OFFSHORE

Dada a ausência de medições de vento no mar, nas simulações deste estudo foram utilizados apenas dados de reanálises, a partir da base ERA 5 por já conter séries de dados a 100 metros de altura, o que confere maior precisão às estimativas.

A produção de energia foi estimada a partir dos dados de velocidade de vento (para cada ponto azul mostrado nos mapas adiante) e da curva de potência de uma turbina de 12 MW de potência nominal.

Foi considerada a lista de projetos submetidos ao IBAMA [3] para o processo de licenciamento ambiental (versão de junho de 2022), sendo simulada a geração para áreas selecionadas, mostradas na Figura 14, Figura 15 e Figura 16.

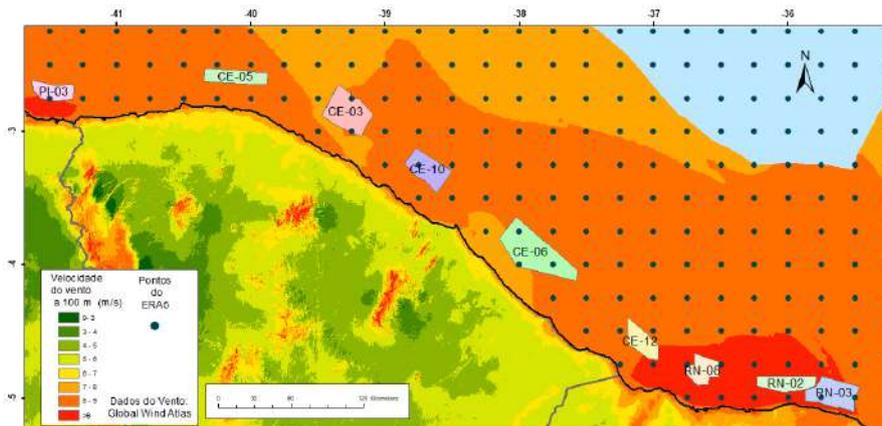


Figura 14 - Eólica Offshore – Pontos representativos no Nordeste

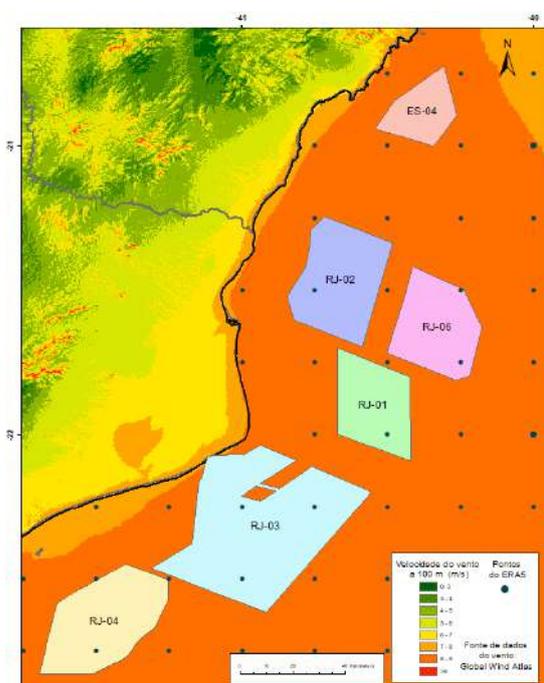


Figura 15 - Eólica Offshore – Pontos representativos no Sudeste

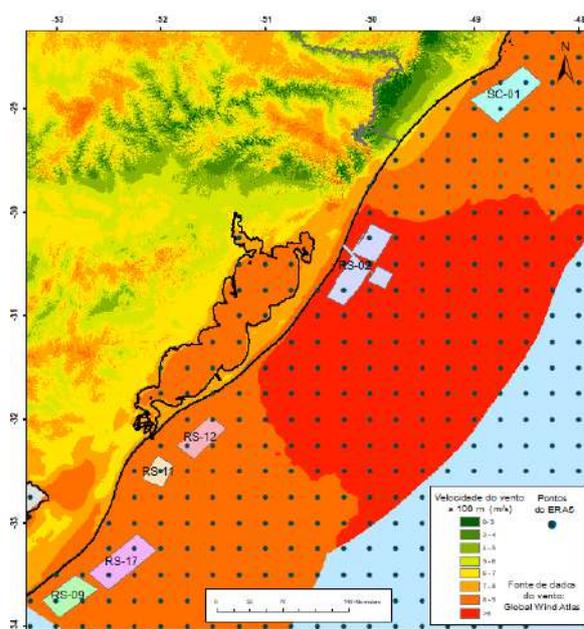
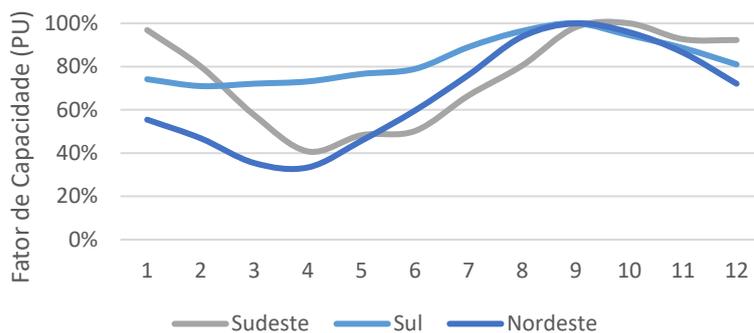


Figura 16 - Eólica Offshore – Pontos representativos no Sul

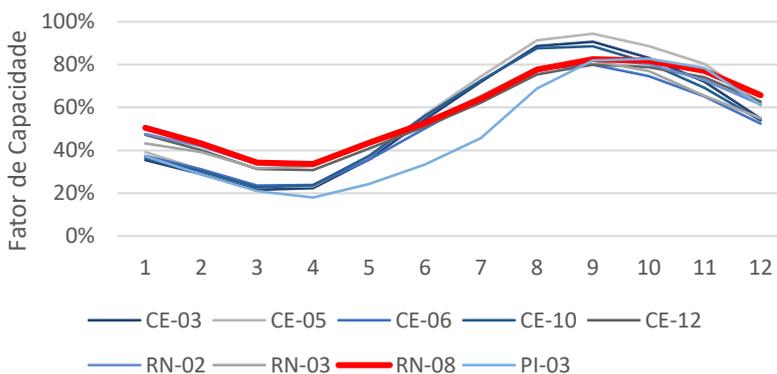
A Figura 17 exemplifica os perfis mensais para cada região, considerando as médias dos parques considerados em cada uma. Verificam-se variações significativas, sendo a sazonalidade mais marcada no Nordeste. Nas três regiões, o segundo semestre é o período de maior geração.



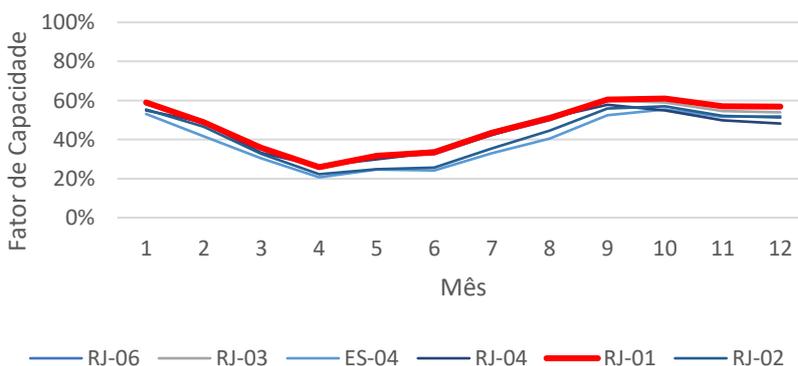
**Figura 17 - Eólica Offshore: Comportamento Mensal – Médias regionais**

É interessante apresentar as diferenças de recurso entre as áreas avaliadas. Nota-se que, em todos os pontos, o segundo semestre é o período com mais geração de energia, sendo este efeito mais pronunciado no Nordeste, como se observa nos gráficos da Figura 18, Figura 19 e Figura 20.

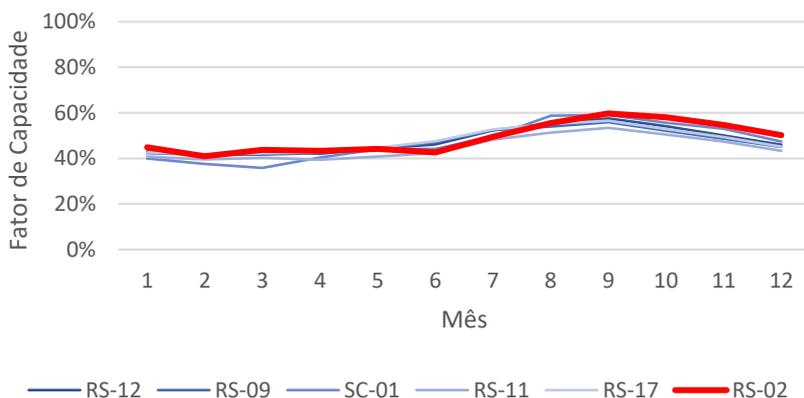
Para uso nos modelos energéticos, foram selecionados os candidatos de maior fator de capacidade em cada região (RN-08, RJ-01 e RS-02), destacados em vermelho nos gráficos. Ressalta-se, no entanto, que as diferenças são mínimas em alguns casos.



**Figura 18 - Eólica Offshore: Comportamento Mensal - Nordeste**

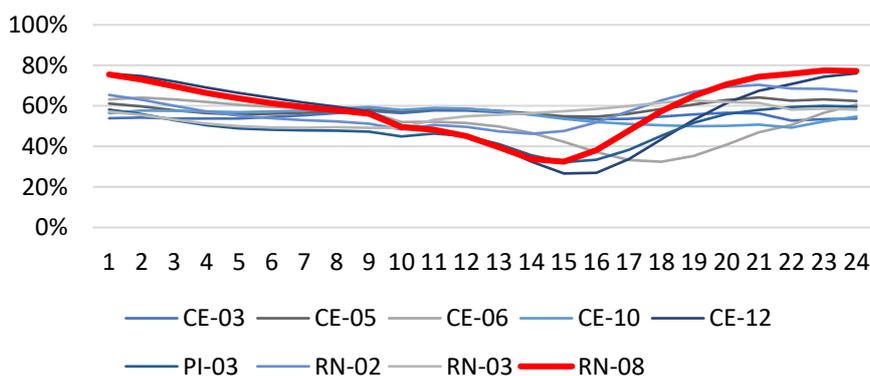


**Figura 19 - Eólica Offshore: Comportamento Mensal – Sudeste**

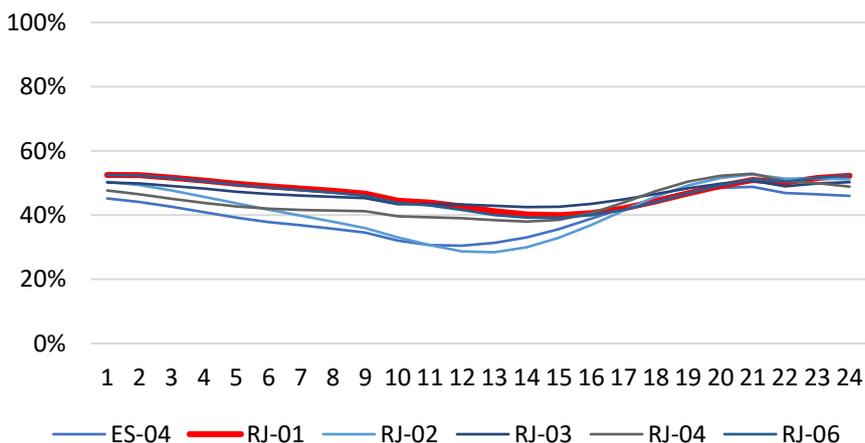


**Figura 20 - Eólica Offshore: Comportamento Mensal – Sul**

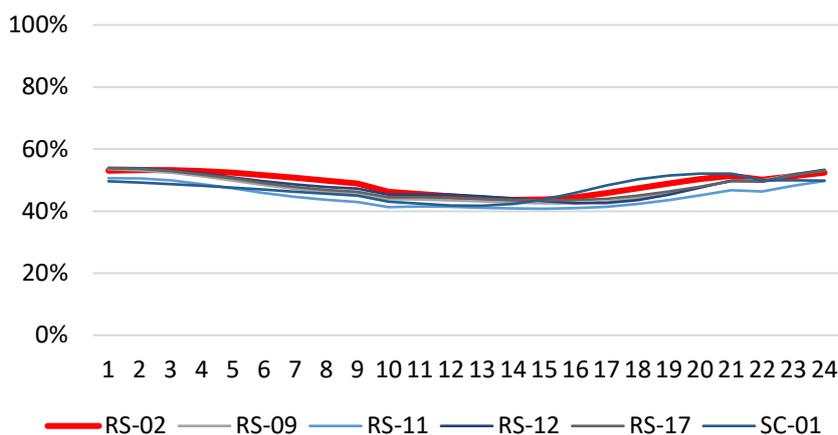
Também é possível avaliar os comportamentos horários dos parques e regiões. No Nordeste nota-se uma predominância de ventos noturnos em alguns parques, enquanto no Sudeste e no Sul há uma maior constância ao longo do dia.



**Figura 21 - Eólica Offshore: Comportamento Horário - Nordeste**

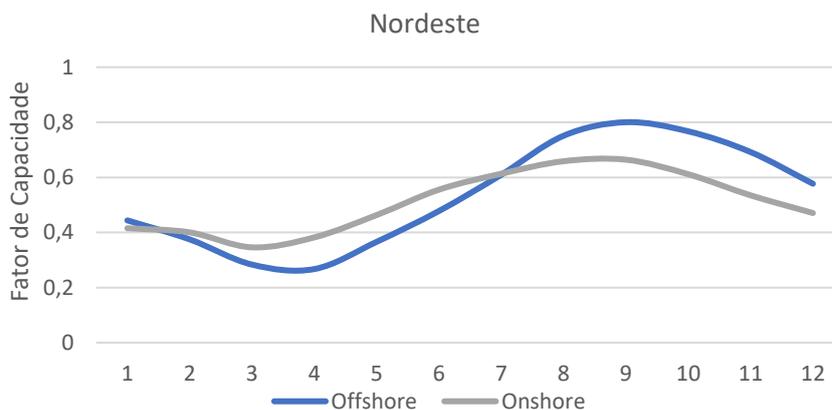


**Figura 22 - Eólica Offshore: Comportamento Horário - Sudeste**

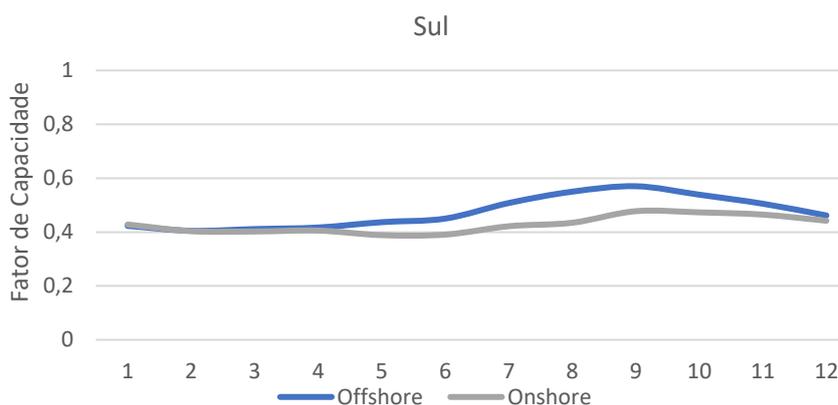


**Figura 23 - Eólica Offshore: Comportamento Horário - Sul**

A título de comparação, os gráficos a seguir apresentam a geração eólica *onshore* e *offshore* das regiões Nordeste e Sul, com base nos valores médios.



**Figura 24 - Eólicas Onshore e Offshore: Comportamento Médio Mensal – Nordeste**



**Figura 25 - Eólicas Onshore e Offshore: Comportamento Médio Mensal – Sul**

No Nordeste o fator de capacidade médio anual da offshore apresenta-se ligeiramente maior, mas com uma sazonalidade mais pronunciada. Já no Sul a diferença foi mais significativa, embora com fatores de capacidade menores. Como mostrado nos gráficos anteriores, dentro de uma região são encontrados

perfis de geração distintos, tanto para onshore quanto para offshore. Ressalta-se a simplicidade destas comparações, sobretudo por considerarem valores médios regionais, estimados unicamente a partir de dados de reanálise, no caso da offshore, o que reforça a importância de se dispor de medições de vento para validar e melhorar tais estimativas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nos estudos de planejamento energético, frequentemente é necessário estimar a contribuição energética das fontes não controláveis, tanto em estudos elétricos e energéticos realizados anualmente, como o Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE, quanto em estudos especiais relacionados à parques híbridos, modernização do setor elétrico ou outras análises de questões comerciais, regulatórias etc. Para isso, o uso de séries representativas do comportamento das fontes no longo prazo é essencial para avaliar não só efeitos de contribuição média de cada fonte de geração, mas sua variabilidade anual, mensal e horária.

Devido à quantidade de parques eólicos onshore já instalados no Brasil, é conveniente dividir o país em regiões. Com a utilização da base de dados de 462 estações do AMA, foram definidas regiões e sub-regiões a serem utilizadas como referência para os estudos da EPE. No caso das offshore, dada a menor quantidade de áreas analisadas, essa agregação regional não se fez necessária.

As considerações aqui apresentadas são dependentes da tecnologia utilizada nas fontes de geração, dos dados de vento disponíveis e das localidades nas quais as fontes se desenvolvem. Assim, esses estudos podem e devem ser revisados periodicamente, incluindo novas localidades, atualizando a tecnologia mais recente e inserindo dados primários de melhor resolução.

## REFERÊNCIAS

- [1] Bastazini, Maria Eduarda Santos. Comparação entre Diferentes Reanálises como Base de Dados para Estimativa da Produção Eólico-Elétrica. TCC UFF 2018. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/7730>.
- [2] EPE,2020. Projetos Eólicos nos Leilões de Energia: Evolução dos Projetos Cadastrados e Suas Características Técnicas. Disponível em: <https://bit.ly/EOL-2020>.
- [3] IBAMA, 2022. Complexos Eólicos Offshore - Projetos com processos de licenciamento ambiental abertos no IBAMA. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore>.