XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/6

Considerações sobre a Análise do Risco Sísmico em Projetos de Aerogeradores *Offshore* na Plataforma Continental NE do Brasil

Alexandre da Costa Pereira
EIES MGI, Docente, IFRN, Natal/RN, Brasil, alexandre.pereira@ifrn.edu.br

Alessander C. M. Kormann
Docente, UFPR, Curitiba/RN, Brasil, alessander.kormann@fugro.com

Aderson Farias do Nascimento
Docente, UFRN, Natal/RN, Brasil, aderson.nascimento@ufrn.br

José Augusto Silva da Fonsêca
Professor assistente, Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, Poland, jfonsec@igf.edu.pl

RESUMO: O estudo investiga os desafios geológicos associados aos projetos de parques eólicos marinhos ao longo da costa nordeste brasileira, contemplando a revisão da literatura e mapeamentos que abordam a ameaça sísmica no NE brasileiro, com o objetivo de aplicação na análise de riscos geológicos e na definição de práticas para investigações geológicas, geofísicas e geotécnicas. O trabalho busca ainda consolidar um entendimento amplo sobre a temática do risco sísmico, propondo mapas preliminares para apoiar o planejamento de parques eólicos marinhos, auxiliando na identificação de potenciais áreas de interesse, de riscos associados e de recomendações para planos de investigação geológico-geotécnica, visando contribuir tecnicamente para a viabilidade dos projetos. Considera-se que os resultados do trabalho possam agregar critérios geológicos e geotécnicos para subsidiar no estabelecimento de critérios técnicos, ambientais, sociais e econômicos para identificação de áreas mais aptas para instalação de projetos de geração eólica *offshore*, consistindo os conhecimentos sobre o risco sísmico de projetos de fundações de aerogeradores *offshore* elemento com potencial relevante para contribuir com a regulamentação desde a definição de critérios para a seleção de áreas, segundo abordagem territorial na forma de zoneamento do risco geológico e geotécnico.

PALAVRAS-CHAVE: Risco Sísmico, Ameaça Sísmica, Aerogeradores Offshore.

ABSTRACT: The study investigates the geological challenges associated with offshore wind farm projects along the northeastern coast of Brazil, includes a literature review, preliminary seismic hazard mapping of the Northeast Brazilian Region for application in geological risk analysis, and practices for geological, geophysical, and geotechnical investigations. The work also seeks to consolidate a comprehensive understanding of seismic risk approach and propose preliminary maps to support the planning of offshore wind farms, assisting in the identification of potential areas of interest, associated risks, and recommendations for geological-geotechnical investigation plans, aiming to contribute technically to the feasibility of the projects. It is considered that the results of the work can add geological and geotechnical criteria to support the establishment of technical, environmental, social and economic criteria for identifying the most suitable areas for the installation of offshore wind power generation projects, with knowledge about the seismic risk of offshore wind turbine foundation projects being a relevant element to contribute to regulation, from the definition of criteria for the selection of areas, according to a territorial approach in the form of geological and geotechnical risk zoning.

KEYWORDS: Seismic Risk, Seismic Hazard, Offshore Wind Turbines.

1 INTRODUÇÃO

O campo de estudo da geodinâmica e geofísica aplicadas à geotecnia é uma fronteira aberta à investigação associada a projetos de infraestrutura, sobretudo em obras em ambiente offshore, onde a geologia costeira e marinha implica desafios notáveis para a engenharia. Especificamente, a geologia da região Nordeste brasileira é caracterizada por uma diversidade de estruturas e de aporte de sedimentos carbonáticos, localizadas em áreas com registros de sismos.

Este trabalho visa explorar os temas da ameaça e do risco sísmicos em áreas offshore, bem como os principais riscos sísmicos e geológicos associados. A compreensão dos processos sedimentares e tectônicos que moldam a costa brasileira é fundamental para a implementação de políticas eficazes de gestão costeira e para o planejamento de projetos de infraestrutura *offshore*, como é o caso da exploração da energia eólica na plataforma continental do Nordeste brasileiro.

2 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho compreende levantamentos de referências bibliográficas relacionadas com o estado da arte na área da ameaça sísmica, do risco sísmico e do geotécnico, associados a áreas na plataforma continental brasileira avaliadas para a implantação de parques eólicos marinhos, direcionando-se o estudo a desafios geológicos da costa brasileira.

Para a determinação do valor para o Fator de Segurança frente à liquefação (Fs_{liq}), considera-se a razão entre CSR (razão de tensão cíclica induzida) e CRR (razão de resistência cíclica), representando o primeiro parâmetro a tensão cisalhante média provocada pelo sismo, conforme proposto por Seed e Idriss (1971), sendo o divisor correspondente à razão de resistência cíclica, que representa a capacidade do solo em resistir à liquefação, geralmente obtido mediante correlações empíricas a partir de resultados de ensaios de campo (SPT, CPT,...) ou da velocidade de ondas cisalhantes (Vs), conforme equações 1 e 2 apresentadas a seguir:

$$FS_{liq} = CRR / CSR \qquad \text{Equação 1}$$

e

$$CSR = 0{,}65.\ (a_{máx} / g).(\sigma_v / \sigma'_v).r_d \qquad \text{Equação 2}$$

onde:

$a_{máx}$: aceleração máxima na superfície do terreno (PGA)
g : aceleração da gravidade
σ_v : tensão vertical total na profundidade de interesse
σ'_v : tensão vertical efetiva na profundidade de interesse
r_d : fator de redução de tensão (ou coeficiente de flexibilidade)

Para a determinação dos valores para $a_{máx}$ para a região de estudo (plataforma continental NE brasileira), recorreu-se a dados sobre a sismicidade na área de estudo levantados no LabSis UFRN.

O estudo busca ainda consolidar um entendimento amplo sobre os materiais geológicos costeiros presentes no Nordeste do Brasil, revisando-se criticamente os mapeamentos existentes, reinterpretando-se as informações disponíveis e propondo-se mapas preliminares para apoiar o planejamento de parques eólicos marinhos, auxiliando na identificação de potenciais áreas de interesse, de riscos associados e de recomendações para planos de investigação geológico-geotécnica.

3 SOBRE O RISCO DE LIQUEFAÇÃO DE SOLOS DE FUNDAÇÃO PARA AEROGERADORES OFFSHORE

Interessante destacar o trabalho “Seismic Design of Offshore Wind Turbines: Good, Bad and Unknowns”, também com a participação do pesquisador Bhattacharya, que aborda questões relevantes segundo a abordagem crítica da temática do projeto sísmico de aerogeradores offshore, incluindo questões relacionadas à eficiência e ao rendimento das turbinas, além da própria dinâmica inerente ao mecanismo das pás e das turbinas.

Convém que se dediquem inicialmente algumas considerações a respeito da terminologia e alguns conceitos fundamentais sobre o risco sísmico e como diferenciá-lo da ameaça sísmica (ou perigo sísmico). Conforme Fonsêca (2024), o conceito de ameaça sísmica difere do conceito de risco sísmico, indicando ser errôneo o uso de forma generalizada (Reiter, 1991; Kijko, 2011). Comenta, ainda, que "ameaça sísmica está associada a um fenômeno físico resultante de um terremoto, por exemplo, vibrações do solo, liquefação do solo ou falha na superfície", asseverando também que risco sísmico "descreve as chances de efeitos indesejados, quando expostos a uma ameaça sísmica, sobre vidas humanas, por exemplo, danos a edifícios, perdas econômicas e sociais e impactos ambientais".

Ambas as abordagens, portanto, devem ser associadas à causa e ao efeito, respectivamente, relação esta ponderada por outros fatores. Assim, a caracterização da ameaça sísmica, quando combinada à vulnerabilidade e à exposição de estruturas civis, constitui um insumo essencial para a estimativa do risco sísmico (Wang, 2009; *apud* Fonseca, 2024).

Sobre o tema do estudo do efeito sísmico e da consideração dos esforços em projetos de aerogeradores *offshore*, conforme Bhattacharya *et al.* (2021), os parques eólicos *offshore* de grande escala são infraestruturas relativamente novas e frequentemente são implantados em regiões propensas a terremotos. Essas estruturas, além das cargas ambientais variáveis de vento e ondas, também podem estar sujeitas a riscos de terremotos em zonas sísmicas. As ameaças que podem ocorrer em parques eólicos *offshore* podem decorrer de deslocamento de falhas, vibrações do solo decorrentes de tremores sísmicos, liquefação subterrânea, deslizamentos de terra submarinos, tsunami e uma combinação dos mesmos. Os procedimentos para o projeto sísmico de estruturas de aerogeradores OWTs não são explicitamente mencionados nos códigos de prática vigentes.

Estudos sedimentológicos mostram que a plataforma continental NE apresenta-se constituída por areias siliciclásticas rasas (próximo à costa) com transição para areias carbonáticas offshore e lamas localizadas em desembocaduras e canais. Além disso, plataformas continentais têm areia em águas rasas agitadas e sedimentos mais finos em maiores profundidades.

Em condições normais, um sismo de magnitude 2,5 Mw na plataforma continental do Nordeste brasileiro tem probabilidade muito baixa de provocar liquefação generalizada em fundações *offshore* de aerogeradores. Contudo, em situações geotécnicas extremamente desfavoráveis, liquefação localizada ou degradação cíclica parcial do solo pode ocorrer. A avaliação depende principalmente dos seguintes fatores: aceleração sísmica efetiva no leito marinho (PGA), distância hipocentral, frequência do evento, duração do carregamento, estado de compacidade do solo e tipo de sedimento *offshore*. Entretanto, mesmo um sismo com magnitude baixa pode produzir efeitos relevantes se coexistirem características como a presença de areias carbonáticas extremamente fofas, geração rápida de poropressão, estrutura metaestável dos solos, presença de solos já degradados e em paleocanais sedimentares.

4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O RISCO SÍSMICO PARA PROJETOS DE FUNDAÇÕES DE AEROGERADORES *OFFSHORE*

A fundação ou estrutura de suporte para uma torre eólica marítima é definida como uma estrutura que é possível projetar de variadas formas e executar de diferentes maneiras, em que, em seu projeto, são levadas em consideração as condições específicas da área na qual será montada a turbina eólica, assim como as vantagens e desvantagens de cada tipo de fundação a ser implementada.

Mesmo que o risco seja mínimo, especialistas ressaltam a importância de monitorar e planejar. A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), por exemplo, conta com o Laboratório Sismológico (LabSis) que monitora a atividade sísmica na região. Objetivando-se coletar dados sobre a sismicidade na área de estudo, foram levantadas no LabSis UFRN as ocorrências de sismos no período de 11/03/2011 a 10/05/2025, tendo sido utilizados dados do boletim sísmico, espacializados no ambiente QGIS.

A sismicidade do Nordeste do Brasil concentra-se, em sua maioria, relativamente próxima à costa, com profundidades rasas e magnitudes moderadas frequentemente registradas. Registre-se que o evento de maior magnitude ocorreu em 20/11/1980, com magnitude de 5,2 mb, próximo ao município de Pacajus, no Ceará. Sismos de magnitude moderada têm sido registrados com efeitos significativos à sociedade, por exemplo, variando desde pequenas rachaduras até colapsos de estruturas fracas. Não obstante, uma notável atividade na porção oceânica tem sido observada, concentrando-se na região nordeste da plataforma continental da margem equatorial brasileira (alguns com magnitude de ~ 4 Mb).

Convém destacar que os registros considerados na amostra compreendem tanto eventos naturais quanto artificiais, constando, na Figura 1, o mapa com eventos com magnitudes entre 1,0 e 5,2 mb, apresentando-se círculos em azul e vermelho para indicar sismicidade histórica e instrumental, respectivamente. Interessante ressaltar que estão em curso no Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN trabalhos de pesquisa compreendendo a atividade sísmica nessa área da Falha Samambaia[1], contemplando, inclusive, a utilização de linhas sísmicas *offshore* e outros experimentos sísmicos.

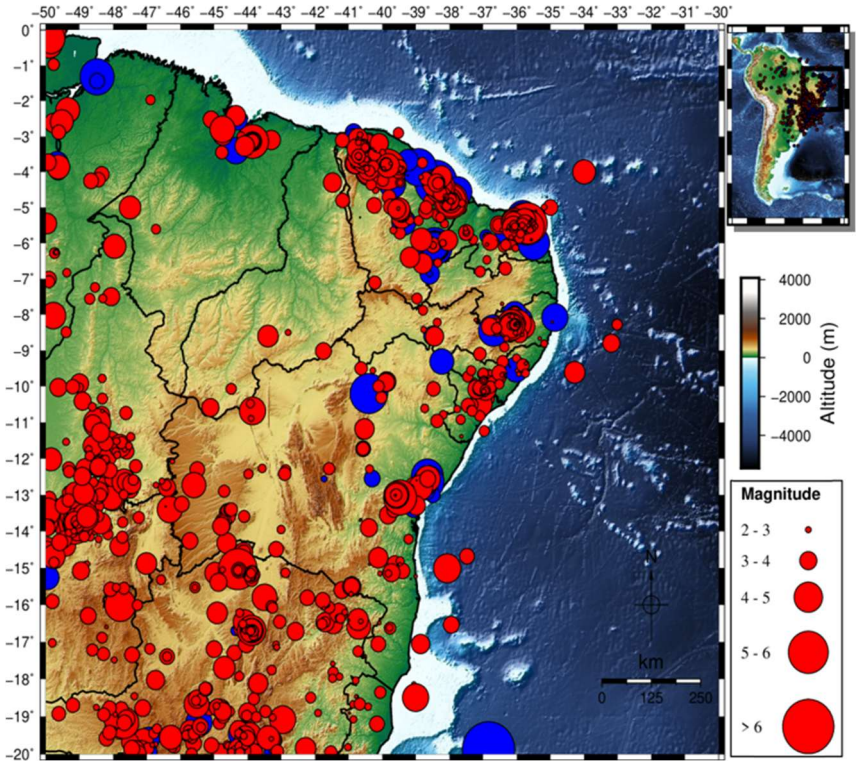


Figura 1. Registros de sismos coletados do catálogo SISBRA no período de 1720 a 2020 (Fonte: https://seiscode.iag.usp.br/CSUSP/sisbra).

Importante destacar, ainda, que para uma melhor acurácia e confiabilidade na obtenção de registros de sismos na região compreendida pela Plataforma Continental, sobretudo na Região Nordeste do Brasil, é necessário que se amplie a rede de sismógrafos na área de estudo, inclusive com a implantação de sensores no leito marinho como, por exemplo, mediante monitoramento por equipamentos com fibra óptica utilizando a tecnologia da DAS (*Distributed Acoustic Senaing*[2]), observando-se que pode ser utilizada fibra óptica instalada para esse fim específico, ou mesmo a existente utilizada para comunicação. Uma segunda opção para a melhoria dos sensores sísmicos na região da Plataforma Continental do NE do Brasil seria a utilização de sensores do tipo *Ocean Bottom Sensors* (OBS), que consistem em sensores fundados no oceano, atuando, basicamente, como estações sismográficas submersas. Uma terceira opção poderia ser a implantação de sensores hidroacústicos, do tipo hidrofones, também fundeados no assoalho oceânico, ou de sensores autônomos, do tipo MERMAIDs (sereias que vagueiam pelo oceano e também registram dados hidroacústicos), que ficarão em operação por até cinco anos, enviando dados via satélite periodicamente.

[1] Samambaia é a maior falha geológica do Brasil. Tem 38 km de comprimento por cerca de 4 km de largura e atravessa os municípios de Parazinho, João Câmara, Poço Branco e Bento Fernandes. Sua profundidade varia entre 1 e 9 km (Fonte: https://www.labsis.ufrn.br/noticias/22632923/falha-de-samambaia-e-detectada-como-epicentro-do-tremor-em-joao-camara#:~:text=Samambaia%20%C3%A9%20a%20maior%20falha,entre%201%20e%209%20km.; acesso em 20 de agosto de 2025a.

[2] Sensoriamento Acústico Distribuído.

Interessante destacar, neste contexto de necessidade de investimentos na rede de sensores sísmicos no ambiente marinho, inclusive na plataforma continental, o Programa RSBR-Mar[3], desenvolvido pelo Observatório Nacional, que consiste em uma missão científica para monitorar terremotos no Atlântico Sul.

Pesquisadores do Observatório Nacional (ON/MCTI) utilizaram o Navio Hidrooceanográfico Faroleiro Almirante Graça Aranha, da Marinha do Brasil, na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), em Niterói (RJ), para percorrer a margem sudeste do país, entre os estados de São Paulo e Espírito Santo. Durante a expedição, foram instalados oito sismógrafos flutuantes (MERMAIDs) e cinco sismógrafos de fundo oceânico (OBSs) a mais de 2 km de profundidade (Figura 2).

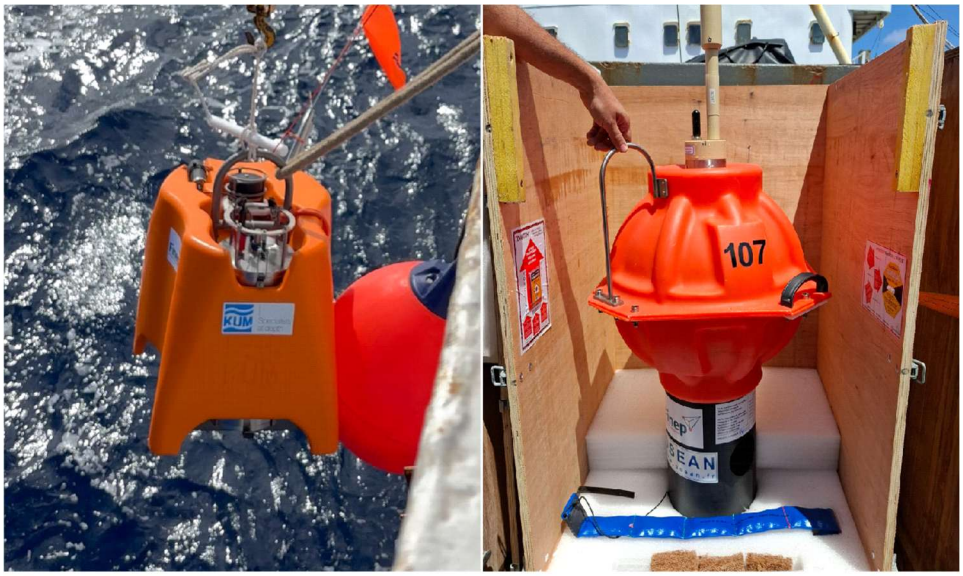


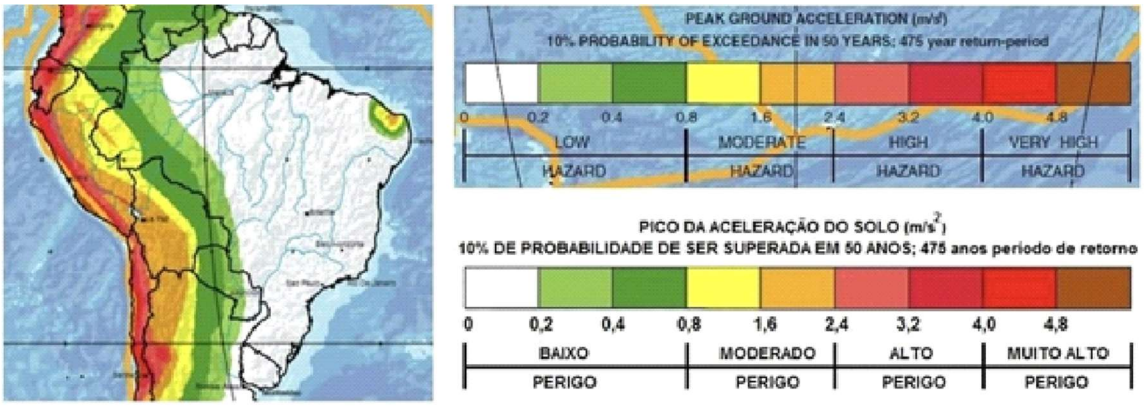
Figura 2. Imagens de sismógrafos utilizados na expansão da Rede Sismográfica Brasileira para o mar (RSBR-Mar): MERMAID à direita e OBS à esquerda (ON, 2025).

Além de ampliar o conhecimento científico, destacam que o RSBR-Mar também tem foco na prevenção de desastres ambientais, registrando a importância da prevenção frente a vazamentos de óleo provocados pelo efeito de terremotos, que representam uma ameaça significativa ao meio ambiente e à economia. Com dados mais precisos sobre a origem dos eventos sísmicos, a iniciativa busca mitigar riscos e subsidiar projetos offshore mais seguros e sustentáveis dentre os quais poder-se-iam destacar projetos para a implantação de parques de aerogeradores offshore e projetos para armazenamento subterrâneo de gás ou para sequestro de carbono (CCS) e armazenamento em formações geológicas no substrato marinho.

Quanto ao programa RSBR-Mar[4], registre-se que consiste em iniciativa inédita do Observatório Nacional (ON), financiada pela FINEP para expandir a Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) para o oceano. O objetivo do programa é monitorar abalos sísmicos na região da Amazônia Azul, aumentando a segurança de plataformas de petróleo, dutos submarino e infraestruturas congêneres situadas no Mar Territorial Brasileiro (Zona Econômica Exclusiva).

Consiste igualmente em fator que deve ser devidamente considerado na análise e priorização de investimentos na ampliação da rede de sensores sísmicos na Plataforma Continental o fato de a área de estudo estar compreendida na região caracterizada como apresentando ameaça sísmica moderada (Figura 3).

[3]Observatório Nacional. Fonte: https://www.gov.br/observatorio/pt-br/assuntos/noticias/rsbr-mar-observatorio-nacional-lidera-missao-cientifica-para-monitorar-terremotos-no-atlantico-sul; acesso em 09/10/2025.
[4] RSBR-Mar. Fonte: RSBR-Mar: Observatório Nacional lidera missão científica para monitorar terremotos no Atlântico Sul — Observatório Nacional, acesso em 09/10/2025.



Zonas Sísmica	Aceleração	Categoria	Métodos aplicáveis para a análise estrutural
0	$a_g = 2{,}5\%\ g$	A	Nenhum requisito de resistência sísmica é exigido
1	$2{,}5\%\ g \leq a_g \leq 5\%\ g$	A	Procedim. simplificado da força sísmica horizontal
2	$5\%\ g \leq a_g \leq 10\%\ g$	B	MFHE ou ME ou MHAT
3	$10\%\ g \leq a_g \leq 15\%\ g$	C	MFHE ou ME ou MHAT
4	$a_g = 15\%\ g$	C	MFHE ou ME ou MHAT

Figura 3. Mapa de perigo sísmico global (GSHAP, 1999; *apud* Nóbrega e Nóbrega, 2016).

Espera-se, portanto, que se dê continuidade às ações do RSBR-Mar, preferencialmente sob a responsabilidade do Laboratório Sismológico da UFRN, tendo em vista a competência territorial e a infraestrutura já disponíveis na Universidade, que monitora a rede de estações sismológicas no Nordeste brasileiro.

A atual norma brasileira de projetos de estruturas resistentes ao sismo (NBR 15421:2023) sugere acelerações entre 0,025 g e 0,05 g a serem consideradas em estruturas na Região. Conforme Fonseca *et al*. (2024), essa norma baseia-se em estudos sobre ameaça sísmica de escala global elaborados na década de 1990 (*Global Seismic Hazard Assessment Program*: GSHAP), entretanto, mostra-se limitada enquanto norma para ser aplicada a projetos de fundações para estruturas offshore.

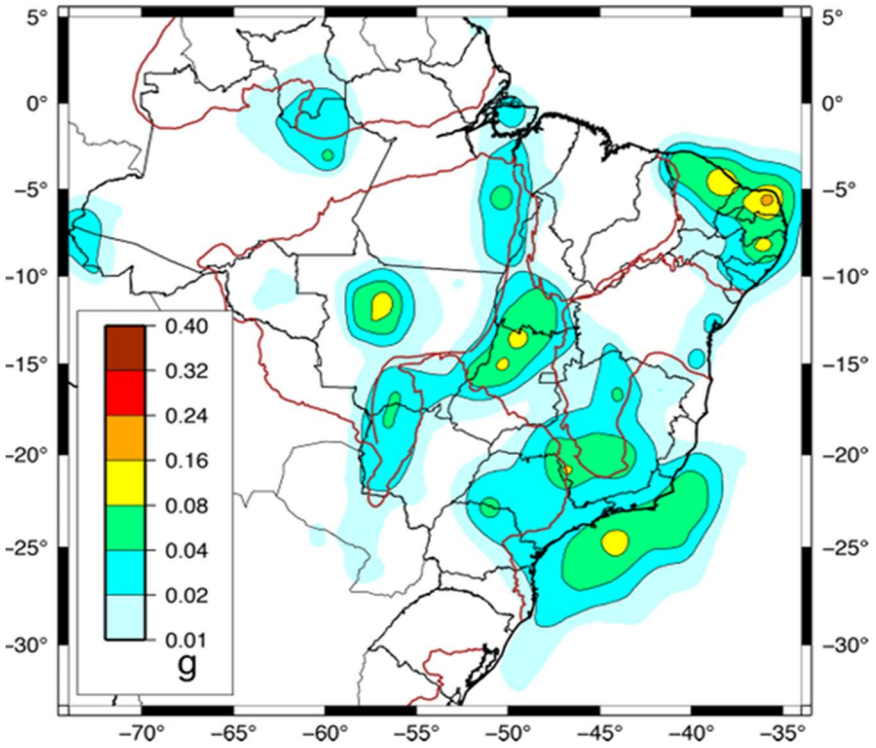


Figura 4. Mapa de ameaça sísmica do Brasil para 10% de probabilidade de excedência em 50 anos (Assumpção, 2016; *apud* Fonsêca, 2024).

Destaque-se também que o trabalho de Fonsêca (2024) evidenciou que no Nordeste do Brasil, estudos de PSHA[5] em escalas globais e continentais indicaram valores de pico de aceleração do solo (PGA) que variam entre 0,02-0,06 g e 0,20-0,35 g para uma probabilidade de excedência de 10% em 50 anos (Figura 4). Destaca Fonsêca (2024) que, nas análises realizadas, com foco no PSHA no Nordeste do Brasil, considerando o cenário de 10% de probabilidade de excedência em 50 anos, em geral, a maior parte do NE brasileiro apresentou valores de PGA (*peak groung acceleration*: aceleração máxima do solo) inferiores aos níveis projetados para as Zonas I e II da norma NBR 15421:2023.

Os maiores valores de PGA observados (0,10 a 0,2 g para 10% de probabilidade de excedência em 50 anos) podem indicar intensidades sísmicas típicas entre VI e VIII, conforme Haldar *et al*. (2013). Isso pode resultar em efeitos como os já observados nas últimas décadas, porém, podendo ser mais severos, variando de pequenos danos em edificações civis a colapso de estruturas antigas. Na Figura 5, apresentada a seguir, consta o mapa de perigo sísmico (PGA) do NE do Brasil para 10% de probabilidade de excedência em 50 anos, de acordo com Fonseca *et al*. (2025).

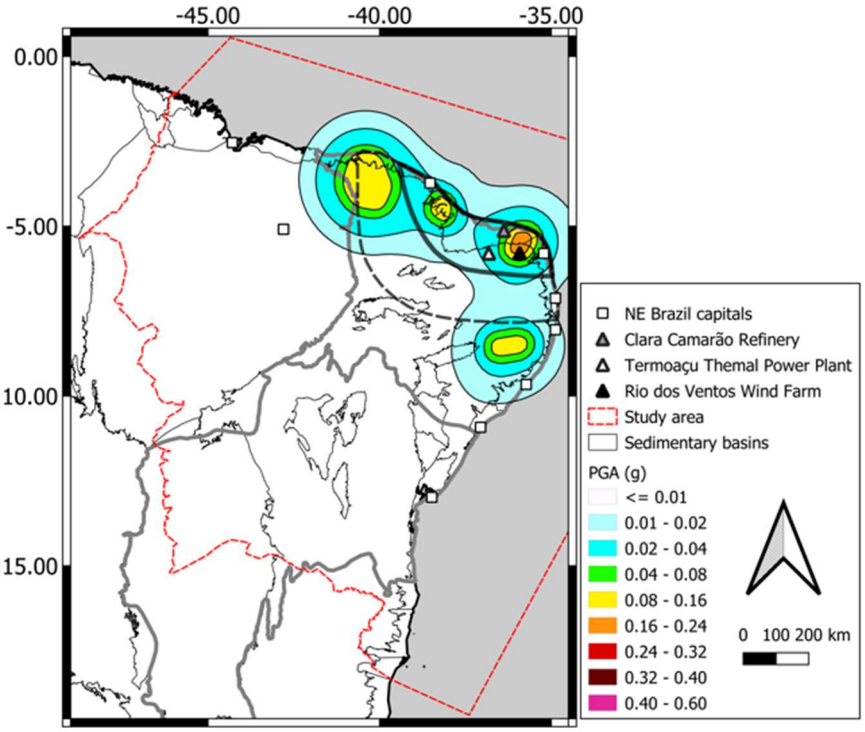


Figura 5. Mapa de ameaça sísmica para o NE do Brasil (Fonsêca *et al*., 2025).

5 ANÁLISE E DISCUSSÕES

Evidencia o trabalho a importância de produtos como mapas de suscetibilidade geotécnica ao risco sísmico de fundação para estruturas de aerogeradores em ambiente *offshore*, considerados informações de interesse para a implementação de procedimentos de análise de risco sísmico em projetos de implantação de parques de aerogeradores em ambiente offshore.

Como forma de exemplificar a aplicabilidade dos resultados de medidas de PGA para a obtenção do CSR e CRR, apresentam-se a Figura 6 a seguir, correspondendo a gráfico ilustrativo para a avaliação do risco de liquefação em fundações diretas, empregando-se relação entre a magnitude do sismo e o potencial de liquefação, bem como a Figura 7 mostrando de forma esquemática o risco de liquefação para sismo com magnitude de 2,5 Mw com diferentes valores para densidade relativa (Dr) para o solo.

[5] *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*.

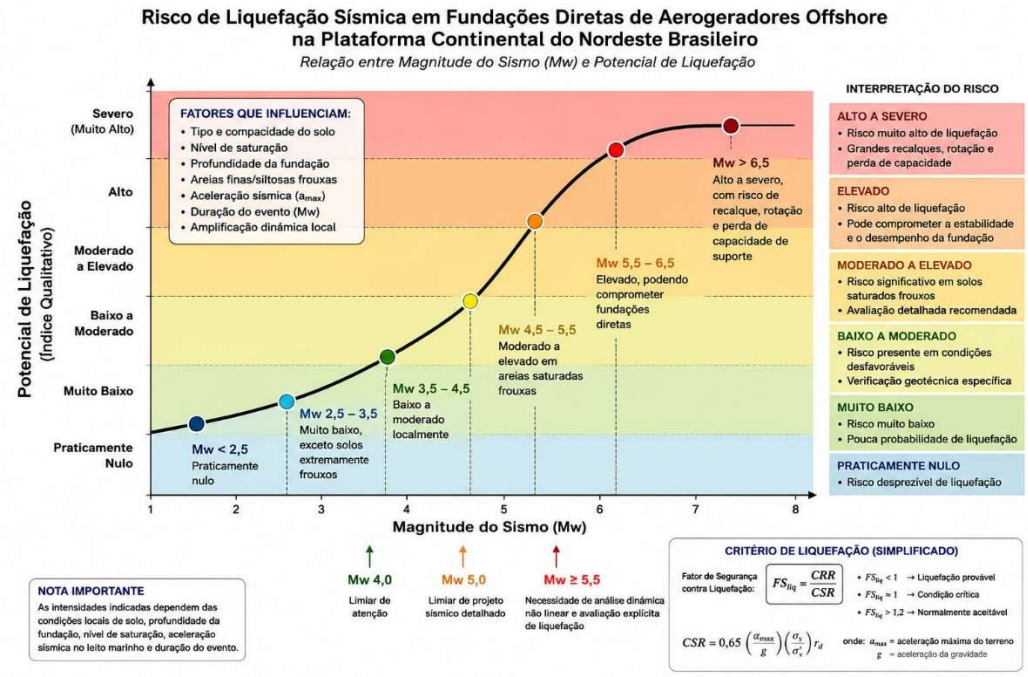


Figura 6. Esquema ilustrativo com relação entre magnitude do sismo e potencial de liquefação.

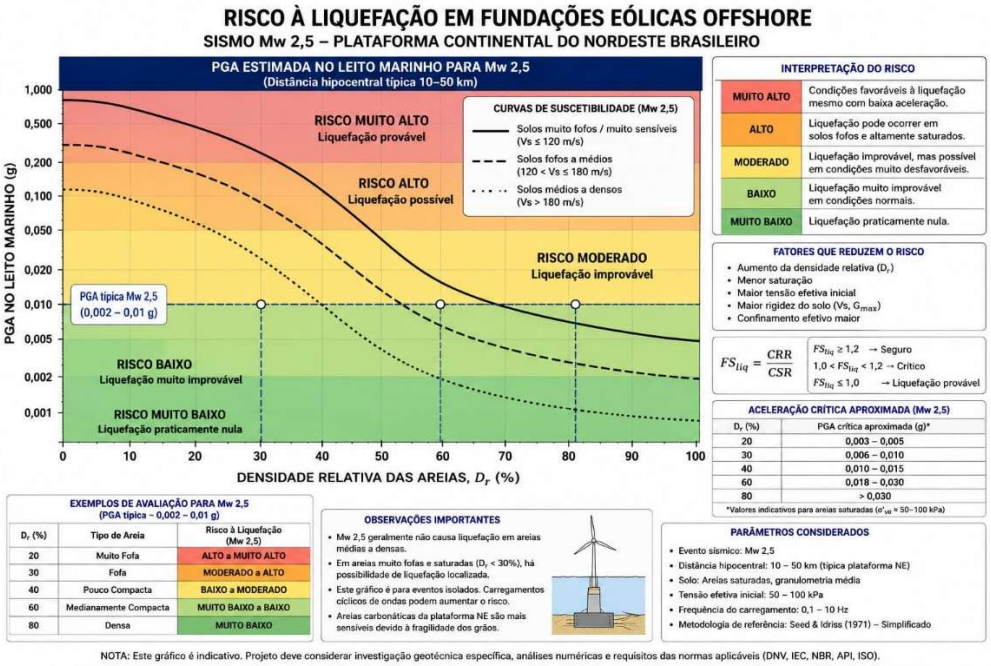


Figura 7. Desenho ilustrativo relacionando risco de liquefação para sismo com magnitude de 2,5 Mw com diferentes valores para densidade relativa (D_r) para o solo.

Destaque-se que areias carbonáticas do Nordeste *offshore* apresentam maior sensibilidade relativa à liquefação por possuírem grãos frágeis e comportamento metastável, entretanto verifica-se como pouco provável haver liquefação com sismos com magnitude de Mw 2,5 em areias densas, solos cimentados e fundações profundas, podendo haver degradação localizada em areias carbonáticas muito frouxas, sedimentos recentesl, paleocanais e áreas de baixa tensão confinante. Portanto, para a plataforma continental do Nordeste brasileiro do ponto de vista de engenharia *offshore* moderna, Mw 2,5 é mais um evento de monitoramento geotécnico do que um cenário crítico de projeto.

Considera-se que aplicabilidade dos conhecimentos sobre o risco sísmico de projetos de fundações de aerogeradores offshore poderá ser implementada desde na definição de critérios para a seleção de áreas, segundo abordagem territorial na forma de zoneamento do risco geológico e geotécnico, tendo em vista a suscetibilidade à liquefação dos solos, bem como na definição de tipologias para as fundações e superestrutura para os aerogeradores, visto que impactaria de forma importante no custo de implantação (CAPEX) e no custo de operação (OPEX) dos investimentos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que os resultados do trabalho possam agregar critérios geológicos e geotécnicos para subsidiar no estabelecimento de critérios técnicos, ambientais, sociais e econômicos para identificação de áreas mais aptas para instalação de projetos de geração eólica *offshore*, consistindo os conhecimentos sobre o risco sísmico de projetos de fundações de aerogeradores *offshore* elemento com potencial relevante para contribuir com a regulamentação desde a definição de critérios para a seleção de áreas, segundo abordagem territorial na forma de zoneamento do risco geológico e geotécnico.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte e ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela oportunidade de realizar a pesquisa que viabilizou o presente trabalho. Ao Ministério de Gestão e Inovação em Serviços Públicos, pelo apoio ao trabalho, por meio do Programa de Capacitação de Longa Duração - PCLD, para integrantes da categoria de Infraestrutura no Serviço Público Federal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 15.421:2023 – Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimentos. Rio de Janeiro.

Bhattacharya S, Biswal S, Aleem M, Amani S, Prabhakaran A, Prakhya GKV *et al*. Seismic Design of Offshore Wind Turbines: Good, Bad and Unknowns. Energies. 2021 Jun 12;14 (12). doi: 10.3390/en14123496.

Eurocode 8 (2004). Design of structures for earthquake resistance, part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. EN 2004-1-1, CEN, Brussels.

Fonsêca, J. A. S. (2024). Análise probabilística da ameaça sísmica para o Nordeste do Brasil. Orientador: Dr. Aderson Farias do Nascimento. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 219f.

Fonsêca, J. A. S., Aderson Farias do Nascimento, and Stanisław Lasocki. "Probabilistic Seismic Hazard Analysis for NE Brazil." *Bulletin of Earthquake Engineering* (2025): 1-21

Haldar, P.; Singh, Y.; Lang, D.H. e Paul, D.K. (2013). Comparison of seismic risk assessment based on macroseismic intensity and spectrum approaches using “SeisVARA.” Soil Dyn Earthq Eng. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2013.01.016

Kijko, A. (2011). Seismic Hazard. In: Encyclopedia of Earth Sciences Series. pp 1107–1121

Kramer, S. L (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River.

Nóbrega, P. G. B.; Souza, B. R. S., Nóbrega, S. H. S. (2021). Towards improving the seismic hazard map and the response spectrum for the state of RN/Brazil. Rev IBRACON Estruturas e Materiais. https://doi.org/10.1590/s1983-41952021000300002

Reiter, L. (1991) Earthquake hazard analysis issues and insights. Columbia University Press, New York.

Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, Nº. 9, pp. 1249-1273.