*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/COBRAMSEG2026.5/21**

# Análise Numérica de Fundações do tipo *Monopile Offshore* Assentes em Areia Carbonática do Litoral Cearense

José Cléber do Nascimento Sales
Mestrando, Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, Brasil, clebersales@alu.ufc.br

Gabriela França Azevedo
Doutoranda, Universidade de Brasilia – UnB , Brasília, Brasil, gabrielaazevedotn@hotmail.com

Cíntia Lopes de Castro
Doutoranda, Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, Brasil, cintia.cstr.eng@gmail.com

Renato Pinto da Cunha
Professor, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, Brasil, rpcunha@unb.com.br

Alfran Sampaio Moura
Professor, Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, Brasil, alfransampaio@ufc.br

RESUMO: A energia eólica representa a segunda principal fonte da matriz elétrica brasileira e é atualmente composta exclusivamente por empreendimentos onshore, embora a expansão para o ambiente marinho se apresente como alternativa estratégica em virtude da maior intensidade e regularidade dos ventos oceânicos. Nesse cenário, a região Nordeste destaca-se pelo elevado potencial de exploração ao longo de sua Plataforma Continental; contudo, a presença predominante de solos carbonáticos, caracterizados por alta compressibilidade, estrutura frágil e suscetibilidade à quebra de partículas, impõe desafios relevantes ao desempenho de fundações *offshore*. Diante desse contexto, o presente estudo analisa o comportamento de fundações do tipo *monopile* para turbinas eólicas *offshore* em solos carbonáticos por meio de simulações numéricas tridimensionais, utilizando parâmetros geotécnicos obtidos a partir da calibração de modelos axissimétricos 2D de ensaios pressiométricos realizados no litoral cearense. A curva de calibração do PMT no PLAXIS 2D apresentou boa concordância com os resultados experimentais, fornecendo parâmetros compatíveis com os dados de campo. Foram avaliadas diferentes configurações geométricas, considerando razões L/D e h/L iguais a 2 e 4, com base na relação carga versus deslocamento lateral para verificação dos estados limites de serviço e último, sendo observado que L/D influencia diretamente a resistência do sistema, enquanto h/L exerce influência inversamente proporcional.

PALAVRAS-CHAVE: Energia eólica *offshore*, *Monopile*, Solos carbonáticos, Simulação numérica.

ABSTRACT: Wind energy represents the second main source in the Brazilian electricity matrix and is currently composed exclusively of onshore projects, although expansion into the marine environment presents itself as a strategic alternative due to the greater intensity and regularity of ocean winds. In this context, the Northeast region stands out for its high exploration potential along its Continental Shelf; however, the predominance of carbonate soils, characterized by high compressibility, fragile structure, and susceptibility to particle breakage, poses significant challenges to the performance of offshore foundations. Given this scenario, the present study analyzes the behavior of monopile foundations for offshore wind turbines in carbonate soils through three-dimensional numerical simulations, using geotechnical parameters obtained from the calibration of 2D axisymmetric models of pressuremeter tests carried out along the coast of Ceará. The PMT calibration curve obtained in PLAXIS 2D showed good agreement with the experimental results, providing parameters consistent with field data. Different geometric configurations were evaluated, considering L/D and h/L ratios equal to 2 and 4, based on the load versus lateral displacement relationship for the verification of serviceability and ultimate limit states, and it was observed that L/D directly influences system resistance, while h/L has an inversely proportional influence.

KEYWORDS: Offshore wind energy, Monopile, Calcareous soils, Numerical simulation.

## 1 INTRODUÇÃO

A energia eólica tem se consolidado como uma das principais fontes renováveis da matriz elétrica brasileira, ocupando atualmente a segunda posição em termos de capacidade instalada (ABEEólica, 2024). No país, sua exploração ocorre predominantemente por meio de parques eólicos *onshore*, uma vez que ainda não existem empreendimentos *offshore* em operação (Global Energy Monitor, 2026). No entanto, a expansão da energia eólica *offshore* desponta como uma alternativa estratégica limpa, em função da maior intensidade e constância dos ventos oceânicos, que resultam em maiores ganhos de produtividade energética (Cepel, 2001).

Nesse contexto, a Plataforma Continental Brasileira apresenta elevado potencial para a instalação de turbinas eólicas *offshore*, com destaque para a região Nordeste (Cepel, 2013). Atualmente mais de 100 projetos de parques eólicos *offshore* encontram-se em processo de licenciamento ambiental junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), sendo a maior parte deles localizados na região Nordeste, e aproximadamente 25% no estado do Ceará (IBAMA, 2025). Cabe ressaltar que estão localizados em uma região com predominância de solos carbonáticos, os quais apresentam comportamento mecânico particular, marcado por elevada compressibilidade, facilidade de quebra de grãos e maior complexidade na resposta tensão-deformação (Brandes, 2011). Essas características impõem desafios ao dimensionamento e à avaliação do desempenho de fundações *offshore*, especialmente dos *monopiles*, que são estacas tubulares de aço de grande diâmetro submetidas a elevadas cargas verticais, horizontais e momentos fletores. Apesar disso, são amplamente utilizados em empreendimentos *offshore* devido à sua eficiência estrutural e construtiva (Doherty; Gavin, 2012).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento de fundações do tipo *monopile* aplicadas a turbinas eólicas *offshore* em solos arenosos carbonáticos, por meio de simulações numéricas tridimensionais. Os parâmetros geotécnicos adotados foram obtidos a partir de calibrações numéricas de ensaios pressiométricos realizados no litoral cearense, modelados em análises axissimétricas bidimensionais. A partir dos resultados das simulações, avaliou-se a relação carga x deslocamento lateral da fundação, possibilitando a verificação dos critérios associados aos estados limites de serviço e último, conforme diretrizes técnicas vigentes. Adicionalmente, são analisadas diferentes configurações geométricas da fundação e da torre, considerando variações nas razões comprimento de embutimento e diâmetro da fundação ($L/D_{out}$) bem como na relação entre a altura de aplicação dos esforços e o comprimento embutido (h/L), de modo a contribuir para a identificação de soluções mais adequadas para aplicações *offshore* em solos carbonáticos.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho fundamenta-se no levantamento de parâmetros geotécnicos das areias carbonáticas do litoral cearense, tendo como referência os ensaios pressiométricos (PMT) reportados na literatura. A partir das curvas características obtidas nos ensaios PMT, realizou-se uma calibração numérica dos parâmetros geotécnicos por meio do software PLAXIS 2D, com o objetivo de reproduzir o comportamento tensão-deformação do solo observado em campo. Após a calibração do solo a partir dessa retroanálise, os parâmetros geotécnicos obtidos são então utilizados como dados de entrada em análises tridimensionais desenvolvidas no PLAXIS 3D (Figura 1), nas quais são avaliadas as razões h/L e L/D de diferentes configurações de fundações *monopiles*, em conformidade com os critérios normativos estabelecidos pela *Det Norske Veritas* (DNV).

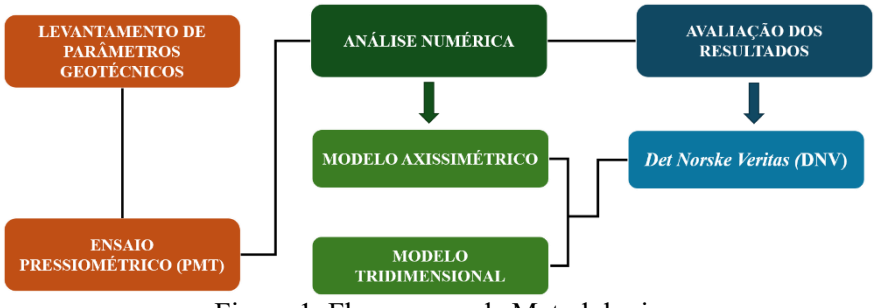


Figura 1. Fluxograma da Metodologia

## 2.1 Calibração dos parâmetros geotécnicos

Para a calibração do ensaio pressiométrico, adotou-se o modelo numérico axissimétrico no software PLAXIS 2D, conforme a metodologia proposta por Goulart (2021). A Figura 2, ilustra o modelo axissimétrico utilizado, baseado na geração de um sólido tridimensional a partir da revolução de uma geometria bidimensional em torno de um eixo de simetria, geralmente o eixo z (Vaz, 2011). Essa abordagem permite representar de forma adequada a expansão radial da sonda pressiométrica e o comportamento tensão-deformação do solo observado em campo, possibilitando o ajuste dos parâmetros geotécnicos a serem empregados nas análises subsequentes.

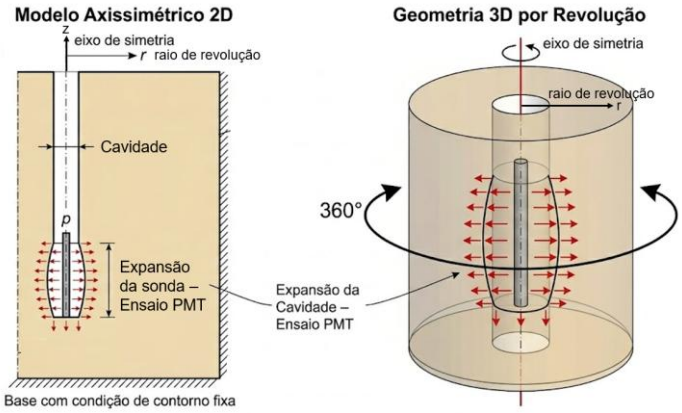



Figura 2. Representação esquemática do modelo axissimétrico 2D e da geometria 3D por revolução para o ensaio pressiométrico (Elaborada com auxílio de Gemini em 01/03/2026).

Dessa forma, o modelo axissimétrico, foi discretizado por elementos finitos de 15 nós. adotando-se o modelo constitutivo de Mohr-Coulomb para representar o comportamento mecânico do solo. A definição da condição de contorno foi realizada com base na cota correspondente à profundidade de execução do ensaio (z), conforme a configuração do maciço apresentada na Figura 3. O modelo considera a execução de um pré-furo no qual foi aplicada uma carga distribuída com comprimento equivalente ao da sonda do ensaio pressiométrico. Adicionalmente, foi definida uma área de refinamento retangular ao redor da região de aplicação da carga distribuída, com dimensões estabelecidas em função do diâmetro da sonda ($D_s$), adotando-se extensão de $10D_s$ na direção radial (eixo $x$) e $30D_s$ na direção vertical (eixo $y$). Essa estratégia teve como objetivo aumentar a precisão na simulação da resposta tensão-deformação do solo nas proximidades da cavidade (Figura 3). A discretização global do domínio foi realizada com malha de densidade média adotando-se refinamento local na região adjacente à cavidade pressiométrica por meio da aplicação de *coarseness factor* igual a 0,25. Em seguida, foram definidos os estágios de carregamento, nos quais incrementos sucessivos de pressão interna foram aplicados, simulando progressivamente as condições do ensaio pressiométrico executado em campo.

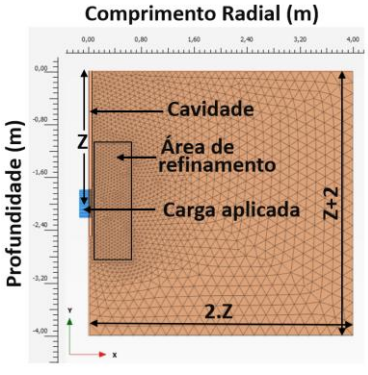



Figura 3. Condições de contorno do modelo axissimétrico do ensaio PMT.

O ensaio pressiométrico considerado neste estudo foi realizado por Nascimento et al. (2025) em solo carbonático localizado no litoral cearense, à profundidade de 2 m. Os dados experimentais foram utilizados com o objetivo de reproduzir numericamente a relação entre pressão aplicada e deformação volumétrica da cavidade, permitindo a adequada representação da resposta mecânica do material no modelo adotado. A Figura 4 evidencia concordância satisfatória entre as curvas experimental e numérica, indicando que a rigidez do solo foi devidamente representada, sem superestimação significativa da resposta. A divergência na porção inicial das curvas está associada às perturbações inerentes à execução do ensaio, especialmente durante a etapa de pré-furo, que compromete a preservação da rigidez inicial do maciço.

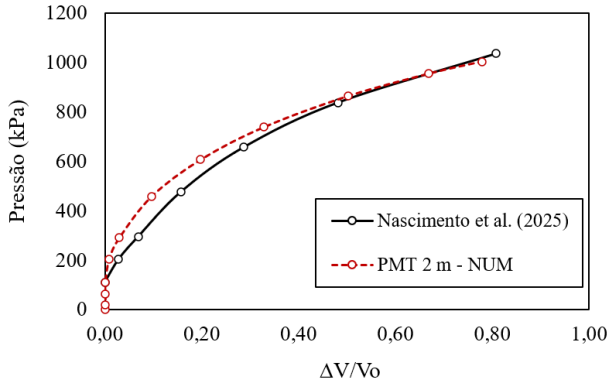



Figura 4. Curvas pressão vs deslocamento volumétrico relativo ($\Delta V/V_0$) do ensaio PMT experimental e numérico.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros obtidos a partir do procedimento de ajuste do modelo, realizado por meio da variação controlada dos parâmetros constitutivos até a obtenção de aderência satisfatória à curva experimental. Os valores estimados mostraram-se compatíveis com aqueles reportados por Nascimento et al. (2025), reforçando a consistência e a coerência da calibração adotada.

Tabela 1. Parâmetros de resistência e de deformabilidade obtidos através da retroanálise do PMT

| $\gamma$ (kN/m³) | $\varphi'$ (°) | $\psi'$ (°) | $c'$ (kN/m²) | E (kN/m²) | $\nu_{ur}$ | $R_f$ | $m$ | $K_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19,92 | 42 | 0 | 5 | 25000 | 0,2 | 1 | 0,5 | 2,79 |

## 2.2 Modelagem das fundações *Monopiles*

A análise tridimensional do sistema foi realizada por meio do software PLAXIS® 3D, com base na metodologia proposta por Brinkgreve et al. (2020), a qual também foi adotada para a calibração e validação do modelo numérico conforme Sales (2026). Os parâmetros geotécnicos de entrada utilizados na definição das camadas de solo carbonático foram obtidos a partir do ensaio PMT, garantindo que o comportamento tensão-deformação do solo representado no modelo fosse compatível com as condições observadas em campo (Tabela 1). A *monopile* foi modelada como uma estrutura completa, discretizada por elementos de 10 nós, adotando-se uma simplificação geométrica por simetria com o objetivo de reduzir o custo computacional. Os esforços foram aplicados por meio da imposição de deslocamento horizontal prescrito aplicado no topo da *monopile*, a uma altura (h) em relação à superfície do leito marinho. A prescrição desse deslocamento resultou no desenvolvimento de forças laterais de reação e momentos fletores na interface solo–estrutura, mobilizando a resistência lateral do maciço.

As dimensões do maciço de solo foram definidas de modo a minimizar os efeitos de contorno, enquanto a *monopile* e a torre foram modeladas com comportamento linear elástico, representando o aço estrutural.. Nesse contexto, foi conduzida uma análise paramétrica considerando diferentes configurações geométricas da *monopile* e da torre. As variações foram realizadas a partir do diâmetro externo ($D_{out}$), do comprimento embutido (L) e da altura da torre (h). A avaliação do desempenho estrutural foi conduzida com base nas razões adimensionais $L/D_{out}$ e h/L, sendo os modelos analisados apresentados na Tabela 2. Essa abordagem permitiu

investigar de forma sistemática a influência dos parâmetros geométricos no comportamento global de fundações do tipo *monopile offshore* instaladas em solos carbonáticos.

Tabela 2. Parâmetros geométricos do modelo numérico da *monopile*

| Modelo | h (m) | L (m) | $D_{out}$ (m) | t (m) | h/L | L/D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H96L24D6 | 96 | 24 | 6 | 0,06 | 4 | 4 |
| H48L24D6 | 48 | 24 | 6 | 0,06 | 2 | 4 |
| H24L12D6 | 24 | 12 | 6 | 0,06 | 2 | 2 |
| H160L40D10 | 160 | 40 | 10 | 0,10 | 4 | 4 |
| H80L40D10 | 80 | 40 | 10 | 0,10 | 2 | 4 |
| H40L20D10 | 40 | 20 | 10 | 0,10 | 2 | 2 |

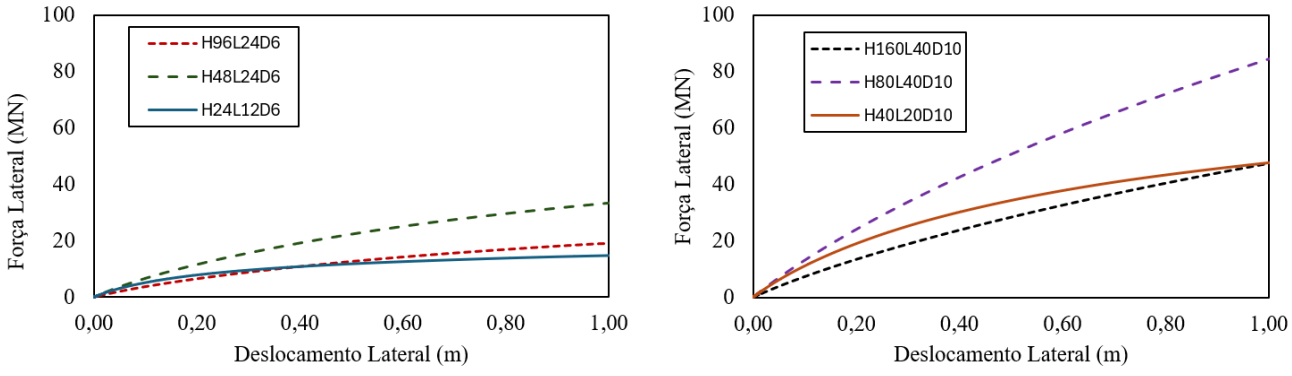
### 2.3 Avaliação Normativa para verificação da *Monopile*

A avaliação do desempenho estrutural da *monopile* foi realizada com base nos critérios de Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS), conforme as recomendações da Det Norske Veritas (DNV, 2021). Para o ELU, adotou-se como critério o deslocamento lateral máximo admissível da estrutura, definido como 0,1 vezes o diâmetro externo ($D_{out}$) da *monopile*. Já a determinação da carga correspondente ao ELS foi baseada no critério de rotação, sendo considerada a carga no ponto em que a *monopile* atinge uma rotação de 0,25° no nível do leito marinho. Esses critérios permitem avaliar de forma consistente tanto a segurança estrutural quanto o desempenho em serviço da fundação sob carregamentos laterais.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentam-se os resultados das análises numéricas realizadas para os seis modelos da *monopile*, bem como a avaliação com base nos critérios normativos. As curvas força lateral versus deslocamento lateral obtidas para os modelos analisados são apresentados nas Figuras 5a e 5b.

Observa-se distinção significativa nas respostas à carga horizontal atuante para os diâmetros de 6 m e 10 m, evidenciando a influência da altura da torre e do comprimento embutido da monopile no desempenho global do sistema. Pelos valores dos delocamentos laterais, verifica-se um aumento significativo entre as forças laterais mobilizadas, atribuída principalmente ao aumento do diâmetro e do comprimento embutido da monopile, o que eleva a rigidez do conjunto e amplia a área de contato fuste-solo, proporcionando maior resistência às cargas horizontais.

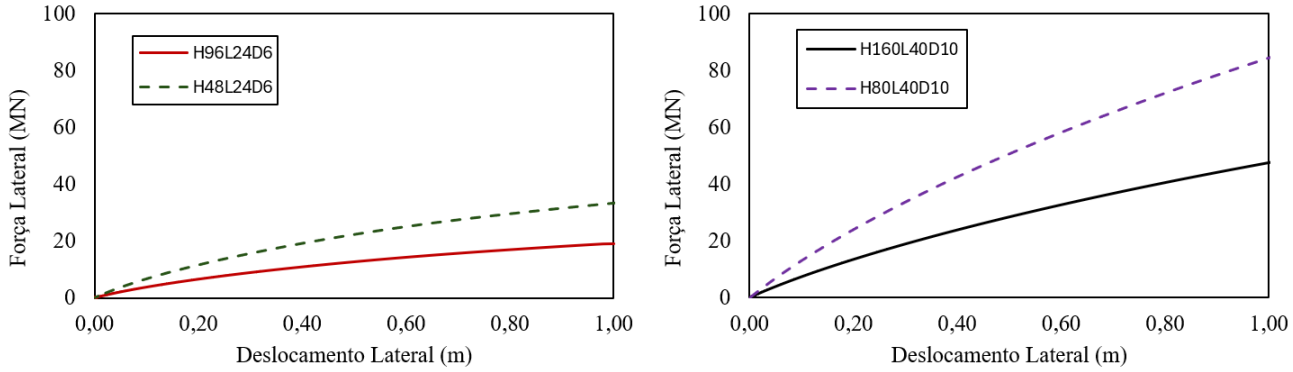



(a) Diâmetro de 6 metros (b) Diâmetro de 10 metros

Figura 5. Curvas Força Lateral e deslocamento lateral na superfície do leito marionho para os *monopiles* com diâmetros de: (a) 6 m e (b) 10 m.

Para a avaliação da influência das razões h/L e $L/D_{out}$, analisam-se inicialmente os pares: a) H96L24D6 e H48L24D6 e b) H160L40D10 e H80L40D10, os quais apresentam razão $L/D_{out}$ constante e igual a 4, enquanto a razão h/L varia entre 4 e 2. Conforme indicado na Figura 6, para ambos os diâmetros analisados (6

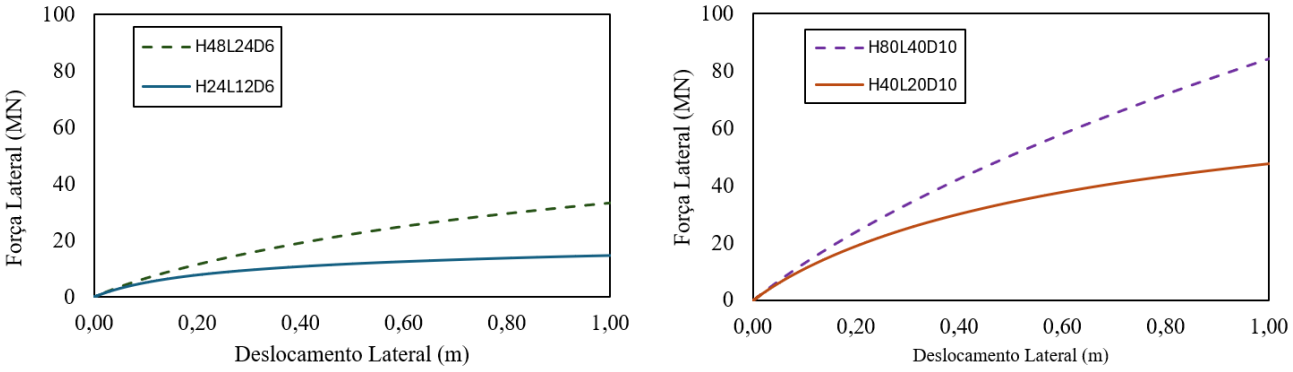
e 10 m), as curvas correspondentes às menores razões h/L posicionam-se em níveis superiores, evidenciando a necessidade de maior força lateral para mobilizar os mesmos níveis de deslocamento. Como os pares analisados apresentam o mesmo comprimento embutido e o mesmo diâmetro, esse comportamento é atribuído à altura de aplicação da carga, de modo que o momento fletor gerado na *monopile* se torna mais elevado em função do aumento do braço de alavanca. Dessa forma, observa-se que a relação entre a força lateral mobilizada e a razão h/L é inversamente proporcional.




(a) Diâmetro de 6 metros (b) Diâmetro de 10 metros

Figura 6. Comportamento da *monopile* em função da variação da razão h/L

Em seguida, para a análise da influência da razão $L/D_{out}$, consideram-se os pares: a) H48L24D6 H24L12D6 e b) H80L40D10 e H40L20D10, nos quais a razão h/L permanece constante e igual a 2, enquanto a razão $L/D_{out}$ assume os valores 4 e 2, respectivamente. Com base na Figura 7, e mantendo a comparação entre modelos de mesmo diâmetro, observa-se que os modelos com L/Dout = 4 apresentam curvas posicionadas em níveis superiores. Esse comportamento ocorre porque o aumento da razão $L/D_{out}$ implica o aumento do comprimento da *monopile*, resultando em maior comprimento embutido e, consequentemente, no aumento da resistência lateral devido à maior mobilização da interação fuste-solo ao longo da estaca. Assim, há maior capacidade de mobilização de resistência lateral do sistema, o que se reflete no aumento da força lateral necessária para atingir os mesmos níveis de deslocamento. Dessa forma, conclui-se que a relação entre a força lateral mobilizada e a razão $L/D_{out}$ é diretamente proporcional.




(a) Diâmetro de 6 metros (b) Diâmetro de 10 metros

Figura 7. Comportamento da *monopile* em função da variação da razão $L/D_{out}$

A partir do comportamento das diferentes configurações de aerogeradores, obtido conforme as diretrizes normativas, torna-se possível identificar quais modelos apresentam maiores cargas nos estados limites último e de serviço, permitindo compreender a influência da análise paramétrica nos resultados. A Figura 8 apresenta as forças laterais no estado limite de serviço (ELS) para os modelos analisados, adotando-se como critério uma rotação de 0,25°, possibilitando a comparação direta do desempenho das distintas configurações geométricas. Para os modelos com diâmetro igual a 6 metros, observa-se que, para a altura da torre de 96 m, a força lateral no estado limite de serviço é a menor, visto que, por apresentar maior altura, o deslocamento no topo da estrutura é mais elevado, o que resulta em um maior momento fletor e, consequentemente, em uma rotação

mais significativa na base da *monopile*. Já para os modelos com H = 48 m e 24 m, embora haja uma mudança expressiva na altura da torre, as cargas no estado limite de serviço são praticamente equivalentes. Dessa forma, para um determinado local, a escolha do modelo pode ser orientada não apenas pela resposta estrutural, mas também pela altura da torre, visando uma melhor captação dos ventos.

Verifica-se que o mesmo comportamento se repete para os modelos com diâmetro de 10 metros, em que o modelo com H = 160 m apresenta as menores cargas laterais no estado limite de serviço, enquanto os modelos com H = 80 m e H = 40 m apresentam valores de força bastante semelhantes. Além disso, observa-se que as cargas laterais obtidas são maiores para os modelos com diâmetro de 10 metros quando comparadas aos modelos com diâmetro de 6 metros. Esse resultado está associado ao aumento do diâmetro da *monopile*, que proporciona maior rigidez lateral ao sistema e maior área de contato com o solo, favorecendo a mobilização da resistência lateral ao longo do fuste. Consequentemente, há necessidade de maiores forças para atingir a rotação limite estabelecida, refletindo o ganho de capacidade do sistema em resistir aos carregamentos laterais.

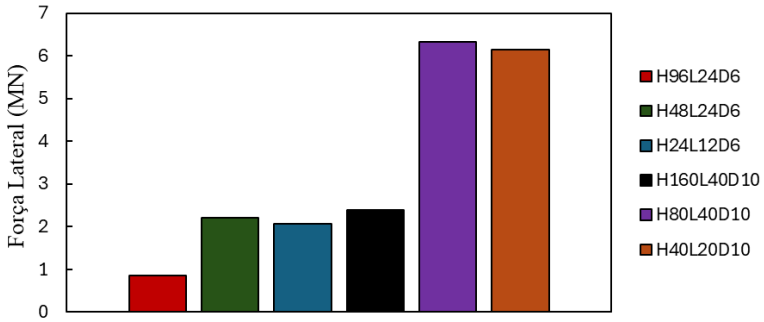



Figura 8. Cargas horizontais no Estado Limite de Serviço (ELS)

A partir das curvas força lateral versus deslocamento lateral, foram determinadas as cargas correspondentes ao ELU, adotando-se como critério um deslocamento lateral igual a 0,1D, em que D corresponde ao diâmetro externo da *monopile*, conforme apresentado na Figura 9. A análise indica que os modelos com diâmetro de 10 m (D10) mobilizam forças laterais significativamente superiores em relação aos modelos com diâmetro de 6 m (D6), evidenciando a influência direta do diâmetro na capacidade resistente do sistema.

Diferentemente do observado no ELS, no ELU os modelos que apresentam razões h/L iguais a L/D mobilizaram cargas laterais de valores próximos para ambos os diâmetros analisados, sendo representados pelos pares H96L24D6-H24L12D6 e H160L40D10-H40L20D10. Por outro lado, os modelos com razão h/L igual a 2 e L/D igual a 4 apresentaram maiores forças laterais quando comparados aos demais modelos de mesmo diâmetro, indicando que, nessa condição, o aumento do comprimento embutido exerce maior influência na capacidade última do sistema.

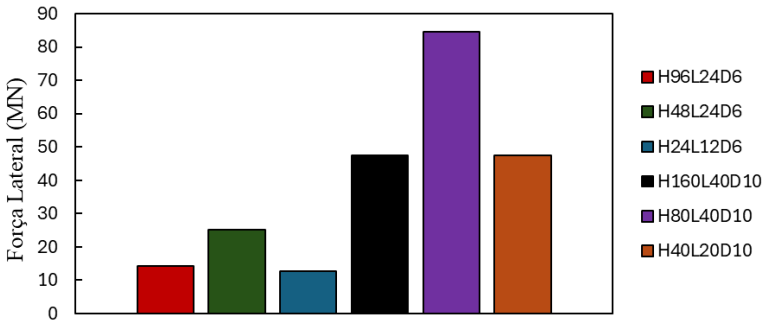



Figura 9. Cargas horizontais no Estado Limite Último (ELU)

## 4 CONCLUSÕES

As areias carbonáticas presentes na plataforma continental cearense apresentam comportamento geotécnico distinto das areias quartzosas, caracterizando-se por elevada compressibilidade, fragilidade das partículas e alta suscetibilidade à quebra sob carregamentos. Essas particularidades influenciam

significativamente a resposta tensão-deformação do solo e a interação solo-estrutura, especialmente em fundações *offshore* do tipo *monopile*, nas quais a resistência à carga lateral é determinante para o projeto.

Os resultados demonstraram que a calibração dos parâmetros geotécnicos com base em ensaios pressiométricos permitiu representar adequadamente a rigidez inicial e a não linearidade do solo, conferindo maior confiabilidade às simulações numéricas. A análise paramétrica evidenciou que o diâmetro da *monopile* aumenta a rigidez e a capacidade de mobilização de cargas laterais, enquanto a altura da torre influencia principalmente o desempenho no estado limite de serviço, devido ao aumento do momento fletor na base. Observou-se ainda que a razão L/D é diretamente proporcional à resistência lateral do sistema, ao passo que a razão h/L apresenta comportamento inversamente proporcional. Assim, o desempenho global das fundações depende da definição integrada dos parâmetros geométricos, contribuindo para um dimensionamento mais seguro e eficiente em solos carbonáticos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às universidades UnB e UFC, bem como à CAPES e à PETROBRAS, pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa, por meio do Termo de Cooperação de P&D (PD-00553-0069/2021), no âmbito do programa regulado pela ANEEL.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA. Boletim anual 2024. São Paulo: *Associação Brasileira de Energia Eólica, 2024*. Disponível em: https://abeeolica.org.br/energiaeolica/dados-abeeolica/. Acesso em: 01 mar. de 2026.

AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A. L. *Atlas do potencial eólico brasileiro*. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001.

BRANDES, H. G. Simple shear behavior of calcareous and quartz sands. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 29, n. 1, p. 113–126, 2011.

BRINKGREVE, R. et al. Validation and application of a new software tool implementing the PISA design methodology. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 8, n. 6, 2020.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL). *Atlas do potencial eólico brasileiro*: simulações 2013. Rio de Janeiro: CEPEL, 2017.

DNV-ST-0126. (2021). DNV-ST-0126 *Support structures for wind turbines*. https://www.dnv.com/energy/standards-guidelines/dnv-st-0126-support-structures-for-windturbines/

GOULART, R. L. (2021). *Estimativa de parâmetros de solos tropicais não saturados a partir de retroanálise numérica de ensaios pressiométricos Ménard*. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). *Mapa de Projetos de Complexos Eólicos Offshore – Processos de Licenciamento Ambiental Abertos*. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/arquivos/20260303_Eolicas_Offshore_Ibama_fevereiro_26.pdf.

SALES, J. C. N (2026). *Análise preliminar do desempenho de fundações do tipo monopile offshore em solos arenosos carbonáticos do litoral cearense através de modelos numéricos*. 2026. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2026.

NASCIMENTO, M. V. et al. Geotechnical properties of carbonate sands on the Brazilian continental shelf. *Sustainability*, Basel, v. 17, n. 10, p. 4726, 2025.

SURARAK, C. et al. Stiffness and strength parameters for hardening soil model of soft and stiff Bangkok clays. *Soils and Foundations*, v. 52, n. 4, p. 682–697, 2012.

VAZ, L. E. *Método dos elementos finitos em análise de estruturas*. Rio de Janeiro: [s.n.].