v7.n11.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE UMA ÁREA COSTEIRA DA BARRA DO CEARÁ PARA APLICAÇÕES DE FUNDAÇÃO *OFFSHORE*

GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF A COASTAL AREA IN BARRA DO CEARÁ FOR OFFSHORE FOUNDATION APPLICATIONS

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE UN ÁREA COSTERA DE BARRA DO CEARÁ PARA APLICACIONES DE CIMENTACIONES OFFSHORE

Diana Rodrigues de Lima Gonçalves[1], Renato Pinto da Cunha[2], Alfran Sampaio Moura[3], Gabriela França Azevedo[4], Roberto Felismino Lima[5]

e7119447
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i11.9447

PUBLICADO: 11/2026

RESUMO

A expansão da energia eólica *offshore* no Brasil exige maior conhecimento sobre o comportamento geotécnico dos depósitos marinhos. Nesse contexto, esta pesquisa caracteriza um depósito arenoso da Barra do Ceará, em Fortaleza, visando contribuir para a definição de parâmetros aplicáveis ao projeto de fundações *offshore*. A investigação envolveu ensaios físicos, químicos e mineralógicos, ensaios de resistência em laboratório e investigações de campo, incluindo SPT e sondagem elétrica vertical (SEV). O material analisado é predominantemente litoclástico, com presença de bioclastos. Os resultados indicaram comportamento predominantemente friccional, com influência do estado de compacidade sobre a resistência, a rigidez e a dilatância. A análise integrada mostrou que nenhum parâmetro, isoladamente, representa adequadamente o comportamento do depósito sob diferentes condições de carregamento. Assim, são apresentadas diretrizes para a investigação e a seleção de parâmetros de projeto, considerando a composição e a morfologia dos grãos, a compacidade, o nível de deformação e a variabilidade espacial. Os resultados contribuem para futuras investigações e para o desenvolvimento de projetos de fundações *offshore* mais compatíveis com as condições do litoral cearense.

PALAVRAS-CHAVE: Areias. Investigação geotécnica. Fundações *offshore*. Aerogeradores *offshore.*

ABSTRACT

The expansion of offshore wind energy in Brazil requires a better understanding of the geotechnical behavior of seabed deposits. In this context, this study characterizes a sandy deposit in Barra do Ceará, Fortaleza, aiming to contribute to the definition of parameters applicable to offshore foundation design. The investigation involved physical, chemical, and mineralogical tests, laboratory strength tests, and field investigations, including the Standard Penetration Test (SPT) and vertical electrical sounding (VES).

[1] UFCA, Mestra em Geotecnia.
[2] UnB, Doutor em Geotecnia, com pós-doutorado em Fundações.
[3] UFC, Doutor em Geotecnia.
[4] UnB, Mestra em Estruturas.
[5] UFC, Graduado em Geologia e especialista em Engenharia Geotécnica.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

The material analyzed is predominantly lithoclastic, with the presence of bioclasts. The results indicated predominantly frictional behavior, with the state of compactness influencing strength, stiffness, and dilatancy. The integrated analysis showed that no single parameter adequately represents the deposit's behavior under different loading conditions. Accordingly, guidelines are presented for site investigation and the selection of design parameters, considering grain composition and morphology, relative density, strain level, and spatial variability. The findings contribute to future investigations and to the development of offshore foundation designs better suited to the geotechnical conditions of the Ceará coast.

KEYWORDS: *Sands. Geotechnical investigation. Offshore foundations. Offshore wind turbines.*

RESUMEN

La expansión de la energía eólica offshore en Brasil exige un mayor conocimiento del comportamiento geotécnico de los depósitos marinos. En este contexto, esta investigación caracteriza un depósito arenoso de Barra do Ceará, en Fortaleza, con el objetivo de contribuir a la definición de parámetros aplicables al diseño de cimentaciones offshore. La investigación incluyó ensayos físicos, químicos y mineralógicos, ensayos de resistencia en laboratorio e investigaciones de campo, entre ellas el ensayo de penetración estándar (SPT) y el sondeo eléctrico vertical (SEV). El material analizado es predominantemente litoclástico, con presencia de bioclastos. Los resultados indicaron un comportamiento predominantemente friccional, en el que el estado de compacidad influye en la resistencia, la rigidez y la dilatancia. El análisis integrado mostró que ningún parámetro, considerado de forma aislada, representa adecuadamente el comportamiento del depósito bajo diferentes condiciones de carga. Por ello, se presentan directrices para la investigación geotécnica y la selección de parámetros de diseño, teniendo en cuenta la composición y la morfología de los granos, la densidad relativa, el nivel de deformación y la variabilidad espacial. Los resultados contribuyen al desarrollo de futuras investigaciones y al diseño de cimentaciones offshore más compatibles con las condiciones geotécnicas del litoral de Ceará.

PALABRAS CLAVE*: Arenas. Investigación geotécnica. Cimentaciones offshore. Aerogeneradores marinos.*

INTRODUÇÃO

A geração de energia eólica *offshore* vem ganhando espaço como alternativa para ampliar a participação das fontes renováveis na matriz energética. No Nordeste brasileiro, as condições de vento e a extensão do litoral favorecem a implantação desses empreendimentos, com destaque para o Ceará. Entretanto, o projeto dessas estruturas exige uma caracterização geotécnica adequada do subsolo, uma vez que suas fundações estão sujeitas à ação combinada de vento, ondas e correntes, que pode mobilizar diferentes níveis de deformação no solo (DNV, 2021).

A definição dos parâmetros geotécnicos para essas fundações não deve se restringir à resistência do solo. A rigidez e a deformabilidade também são fundamentais para avaliar a

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

resposta da fundação e os deslocamentos da estrutura. Além disso, os parâmetros obtidos por diferentes ensaios podem representar níveis de deformação e mecanismos de resposta distintos. Por isso, sua interpretação deve considerar as condições em que foram determinados e sua finalidade na análise. O módulo de cisalhamento em pequenas deformações G_0, por exemplo, não deve ser diretamente equiparado aos módulos obtidos em ensaios que mobilizam deformações maiores. Essa questão é particularmente relevante para as areias com teor de carbonato considerável, cujos grãos podem apresentar formas irregulares, elevada porosidade intrapartícula e maior suscetibilidade à quebra durante o carregamento (Coop; Airey, 2003).

Essas características podem modificar a resistência, a compressibilidade e a deformabilidade do material, limitando a aplicação direta de correlações desenvolvidas para areias predominantemente quartzosas. No litoral cearense, a diversidade dos depósitos, com diferentes proporções de componentes siliciclásticos e carbonáticos e distintas características granulométricas e geomorfológicas, torna essa avaliação ainda mais complexa (Maia de Almeida *et al.*, 2021). Assim, materiais classificados genericamente como areias carbonáticas podem apresentar comportamentos distintos, o que exige uma interpretação compatível com suas características e com os princípios de funcionamento de cada ensaio.

Embora os estudos sobre areias carbonáticas tenham avançado nos últimos anos, ainda são limitadas as informações sobre o comportamento desses materiais no litoral nordestino brasileiro. Essa lacuna é relevante diante da perspectiva de expansão dos projetos eólicos *offshore* no país, pois a utilização de parâmetros obtidos em outros ambientes pode introduzir incertezas na análise e no dimensionamento das fundações. Gonçalves *et al*. (2024) apresentaram resultados preliminares de ensaios realizados em amostras coletadas na área investigada neste trabalho. A continuidade dessa investigação permite ampliar a compreensão das propriedades dos materiais locais e avaliar de forma mais consistente os parâmetros obtidos por diferentes métodos.

Diante desse cenário, o objetivo geral deste trabalho é caracterizar e avaliar o comportamento geotécnico de depósitos arenosos do litoral cearense, considerando suas particularidades composicionais e as respostas obtidas por diferentes métodos de investigação, de modo a contribuir para a definição e a interpretação de parâmetros aplicáveis ao projeto de fundações de estruturas eólicas *offshore*. Para isso, busca-se caracterizar as propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos materiais; avaliar sua resistência, rigidez e deformabilidade por meio de ensaios de campo e laboratório; comparar os parâmetros obtidos pelos diferentes métodos, considerando seus princípios de funcionamento e os níveis de deformação mobilizados; analisar a influência das características dos grãos e do estado de compacidade nas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

respostas observadas; e discutir a aplicabilidade e as limitações das correlações utilizadas na interpretação dos resultados. A partir dessa análise integrada, pretende-se estabelecer diretrizes para a seleção e a interpretação de parâmetros geotécnicos, considerando as particularidades dos depósitos estudados e as incertezas associadas à variabilidade dos materiais.

A realização deste estudo se justifica pela necessidade de ampliar a base de dados geotécnicos sobre as areias do litoral cearense e reduzir as incertezas relacionadas à utilização de parâmetros e correlações desenvolvidos para materiais com características distintas. Ao reunir resultados de ensaios de campo e laboratório, a pesquisa permite examinar as diferenças entre as respostas obtidas e compreender em que condições cada parâmetro pode ser empregado. Essa abordagem contribui para uma interpretação mais representativa do comportamento dos depósitos locais e fornece subsídios técnicos para futuras investigações e análises de fundações *offshore*, sem pressupor que um único parâmetro seja suficiente para descrever todas as condições de carregamento e deformação.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

As areias carbonáticas diferem das areias predominantemente quartzosas pela composição mineralógica, pela origem biogênica e pelas características de suas partículas. Fragmentos de conchas, algas calcárias, corais e outros bioclastos podem apresentar formas irregulares, rugosidade e porosidade intrapartícula, características que influenciam o empacotamento dos grãos, o índice de vazios e a resistência do solo. Por isso, a granulometria e o teor de carbonato, isoladamente, não são suficientes para descrever seu comportamento geotécnico (Coop; Airey, 2003).

Estudos recentes realizados no litoral do Ceará identificaram diferenças de resistência e rigidez entre areias carbonáticas e quartzosas, além de variações entre materiais carbonáticos com características distintas (Nascimento *et al*., 2025). Esses resultados reforçam a importância de considerar a composição, a morfologia dos grãos e as condições dos ensaios na interpretação dos parâmetros geotécnicos.

A caracterização física e mineralógica fornece informações essenciais para essa análise. A distribuição granulométrica, a massa específica dos grãos, o teor de carbonato de cálcio e os índices de vazios mínimo e máximo permitem descrever o material e seus estados de compacidade. A densidade relativa auxilia na interpretação da resistência ao cisalhamento e das tendências de contração ou dilatância, mas deve ser avaliada em conjunto com as características das partículas. Coop e Airey (2003) discutem essa influência, enquanto Cataño e Pando (2010)

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

demonstram diferenças de comportamento entre areias calcárias e quartzosas com graduação semelhante.

A porosidade interna e a resistência variável dos bioclastos podem favorecer a quebra das partículas sob tensões elevadas. O esmagamento e a fragmentação modificam a granulometria e a estrutura do esqueleto granular, afetando a compressibilidade e a resistência. Hardin (1985) discutiu a quebra de partículas em solos granulares, enquanto Cheng, Nakata e Bolton (2003) analisaram numericamente os efeitos desse mecanismo. Estudos mais recentes demonstraram que a abrasão e a quebra também podem ocorrer durante o cisalhamento cíclico de areias carbonáticas (Wang; Zha, 2020; He *et al*., 2022).

O teor de carbonato de cálcio, portanto, não determina sozinho a resistência ou a rigidez da areia. A resposta também depende da geometria, da rugosidade e da porosidade dos grãos, da compacidade e do nível de tensão. As diferenças observadas por Cataño e Pando (2010) e Nascimento *et al*. (2025) reforçam que os parâmetros geotécnicos devem ser definidos com base nas características do depósito investigado, e não apenas no percentual de $CaCO_3$.

Nos solos tropicais, o intemperismo pode modificar a composição mineralógica, a estrutura dos poros e as ligações entre partículas, influenciando a resistência e a deformabilidade. Pierozan *et al.* (2023) discutem a influência de variáveis relacionadas ao intemperismo no desempenho geomecânico desses materiais, reforçando a necessidade de avaliar suas particularidades antes de aplicar correlações geotécnicas.

É importante, contudo, distinguir os solos residuais tropicais dos sedimentos arenosos costeiros, pois seus processos de formação são diferentes. No material estudado na Barra do Ceará, a interpretação deve considerar a origem sedimentar, o predomínio de constituintes litoclásticos e a presença de componentes biogênicos. A literatura sobre solos tropicais contribui para a discussão sobre a variabilidade dos materiais e os limites das correlações, mas não permite atribuir à amostra características de solos residuais ou lateríticos que não tenham sido identificadas experimentalmente.

Os ensaios de cisalhamento direto e triaxial permitem avaliar a resistência ao cisalhamento e aspectos da deformação das areias. No cisalhamento direto, a ruptura ocorre em um plano previamente definido, e os resultados permitem estimar o ângulo de atrito efetivo. Um intercepto positivo na envoltória de resistência, entretanto, não representa necessariamente coesão verdadeira, sobretudo em materiais granulares sem cimentação comprovada.

O ensaio triaxial permite controlar a tensão confinante e acompanhar a evolução da tensão desviadora, da deformação axial e, nos ensaios drenados, da variação volumétrica. Esses resultados auxiliam na avaliação da resistência, da rigidez e das tendências contrativa ou

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

dilatante. A comparação entre os dois ensaios deve considerar as diferenças nas condições de contorno e nas trajetórias de tensões, pois os parâmetros obtidos não são necessariamente intercambiáveis.

Sob carregamentos cíclicos, as areias carbonáticas podem apresentar deformações acumuladas e quebra de partículas. Donohue *et al.* (2009) relacionaram esses mecanismos às condições de tensão e às deformações volumétricas, enquanto Hyodo *et al*. (1996) investigaram a resistência e a deformação cíclica de uma areia carbonática suscetível à quebra. Estudos posteriores também identificaram alterações nas partículas e acúmulo de deformações sob carregamentos repetidos (Wang; Zha, 2020; He *et al*., 2022). Esses resultados mostram que a resposta depende das características do material, do estado inicial e da intensidade das solicitações.

O dimensionamento de fundações para turbinas eólicas *offshore* requer parâmetros geotécnicos compatíveis com a geometria da fundação, as características do perfil e as condições de carregamento. Para monopiles, a resposta lateral depende da interação entre o solo e a fundação. Burd *et al*. (2020) apresentaram o modelo PISA para monopiles em areia sob carregamento monotônico, incorporando componentes de reação do solo além das consideradas na abordagem convencional baseada em curvas p–y. Jindal *et al*. (2024) discutiram diferentes metodologias de dimensionamento e suas limitações na previsão do comportamento dessas fundações.

A ação repetida do vento e das ondas também pode influenciar os deslocamentos e a rigidez do sistema solo–fundação–estrutura. Por isso, a avaliação deve considerar os esforços verticais, as forças horizontais, os momentos e os efeitos cíclicos, conforme as condições previstas para o projeto. As diretrizes para estruturas *offshore*, como a DNV-ST-0126 (2021), reforçam a necessidade de compatibilizar a investigação geotécnica com o tipo de fundação e os estados-limites considerados. Em materiais suscetíveis à quebra, a possível alteração da estrutura granular também deve ser considerada na interpretação dos parâmetros.

O material investigado é uma areia predominantemente litoclástica, composta principalmente por quartzo e minerais micáceos, com fragmentos bioclásticos dispersos e teor de carbonato de cálcio da ordem de 9%. Portanto, não deve ser equiparado a areias com elevados teores de $CaCO_3$. A área estudada é considerada análoga, para fins de investigação geotécnica, a materiais da Plataforma Continental do Ceará (Polemis Junior *et al.*, 2024), embora essa analogia não implique propriedades idênticas entre os depósitos costeiros e marinhos.

A interpretação do perfil também deve considerar a possível influência de beachrocks, que podem gerar contrastes locais de resistência e afetar os resultados dos ensaios de campo.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O aumento da resistência à penetração, nesses casos, não deve ser atribuído automaticamente à maior compacidade da areia, pois pode refletir a presença de níveis cimentados ou parcialmente litificados. A integração dos diferentes métodos de investigação ajuda a avaliar essas possibilidades.

Gonçalves *et al.* (2024) apresentam uma abordagem de caracterização que contribui para a compreensão das propriedades desses materiais. Neste estudo, a análise granulométrica, a massa específica dos grãos, os índices de vazios e o teor de carbonato foram associados aos resultados dos ensaios de cisalhamento direto e triaxiais e às investigações de campo. Essa abordagem permite discutir a influência da composição, da compacidade e das condições de tensão sobre a resistência e a deformabilidade do depósito, oferecendo subsídios para estudos preliminares de fundações *offshore*.

2. METODOLOGIA

Foram coletadas uma amostra de sedimentos arenosos e uma amostra de beachrocks, ambas da zona entre marés da Praia da Barra do Ceará, em Fortaleza, Ceará, Brasil. Nos sedimentos foram realizados ensaios laboratoriais de análise granulométrica, massa específica dos grãos, índices de vazios máximo e mínimo, teor de $CaCO_3$, mineralogia, cisalhamento direto e triaxiais. Os ensaios de resistência mecânica foram executados nas condições fofa e compacta, sob tensões normais e confinantes de 50, 100 e 200 kPa. A verificação da ocorrência de material carbonático consistiu em determinar o teor de carbonato do solo e dos beachrocks, uma vez que essa é uma medida importante e que fornece informações sobre a formação geológica, a presença de minerais carbonáticos e a composição do solo. Os ensaios de laboratório foram realizados conforme as normativas técnicas ABNT (2016, 2018), ASTM (2016, 2020, 2023) e os procedimentos de obtenção de parâmetros Head (1992), Blaker *et al*. (2015), Dyvik e Madshus (1985) e Viggiani e Atkinson (1995).

O teste de efervescência com ácido clorídrico foi utilizado como procedimento qualitativo para verificar a presença de materiais carbonáticos, conforme descrito na literatura sedimentológica (Tucker, 2001; Boggs, 2014). A intensidade da reação foi classificada visualmente em cinco níveis. Entretanto, esse procedimento não permite determinar diretamente o teor de $CaCO_3$, pois a avaliação depende da observação da efervescência e das características do material, conforme discutido por Lamas *et al*. (2005). A investigação de campo incluiu testes qualitativos, sondagens a trado, sondagens SPT e sondagem elétrica vertical (SEV), em conformidade com a ABNT (2020a, 2020b).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Para facilitar a compreensão dos procedimentos adotados nesta pesquisa, o Quadro 1 apresenta uma síntese das etapas de investigação, dos métodos empregados, dos parâmetros obtidos e das respectivas normas e referências metodológicas. Essa organização permite visualizar a relação entre as investigações de campo, os ensaios laboratoriais e a análise integrada dos resultados.

Quadro 1. Síntese das etapas, dos métodos e dos parâmetros da investigação geotécnica da Barra do Ceará

Etapa da pesquisa	Método ou ensaio	Parâmetros ou informações obtidas	Norma ou referência
Investigação de campo	Sondagem à percussão (SPT).	Índice de resistência à penetração N_{SPT}, variação da resistência com a profundidade e identificação das camadas.	ABNT NBR 6484 (2020).
Investigação de campo	Sondagem elétrica vertical (SEV).	Resistividade elétrica aparente e contrastes geoelétricos associados às mudanças do subsolo.	ABNT NBR 7117-1 (2020, versão corrigida em 2021).
Investigação de campo	Inspeção visual e teste qualitativo com HCl (TEA).	Indícios de material carbonático e intensidade da efervescência.	Tucker (2001); Boggs (2014); Lamas *et al*. (2005).
Caracterização física	Análise granulométrica.	Distribuição granulométrica e classificação do solo.	ABNT NBR 7181 (2018).
	Determinação da massa específica dos grãos.	Massa específica dos sólidos.	ABNT NBR 6458 (2016).
	Determinação dos índices de vazios máximo e mínimo.	Índices de vazios máximo e mínimo; subsídios para avaliação da compacidade.	ASTM D4254-16; Blaker *et al.* (2015).
Caracterização química	Determinação do teor de carbonato de cálcio.	Teor de $CaCO_3$ (%).	Método descrito na metodologia experimental.
Caracterização mineralógica	Análise mineralógica com lupa.	Identificação dos minerais constituintes do material.	Técnica e referência metodológica descritas no artigo.
Caracterização mecânica	Ensaio de cisalhamento direto drenado.	Tensão cisalhante, envoltória de resistência, ângulo de atrito efetivo e intercepto aparente.	ASTM D3080/D3080M-23e1 (2023).
	Ensaio de compressão triaxial consolidada drenada.	Tensão desviadora, deformação axial, variação volumétrica e parâmetros de resistência e deformabilidade.	ASTM D7181-20 (2020); Head (1992).
Caracterização dos beachrocks	Compressão uniaxial.	Resistência à compressão uniaxial e resposta tensão-deformação.	Procedimento experimental descrito no artigo.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Obtenção de parâmetros	Correlações da literatura.	Parâmetros de resistência e deformabilidade.	Das e Sobhan (2018); Head (1992) e correlações citadas no texto.
Análise integrada	Integração dos resultados de campo e laboratório.	Perfil geotécnico, limitações das correlações empíricas.	Interpretação dos autores com base na literatura.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos procedimentos descritos no artigo.

Por fim, os resultados laboratoriais e de campo foram integrados e comparados para caracterizar o depósito arenoso costeiro e avaliar o comportamento do solo sob diferentes abordagens.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ensaios de Laboratório

A areia coletada na Praia da Barra do Ceará foi submetida aos ensaios de laboratório para caracterização física e química, bem como para classificação pelo sistema SUCS e considerando o teor de carbonato (Dias, 1996). A amostra foi classificada como não plástica (NP). Na Tabela 1 são apresentados os resultados.

Tabela 1. Resultados obtidos na caracterização. Elaborada pelos autores

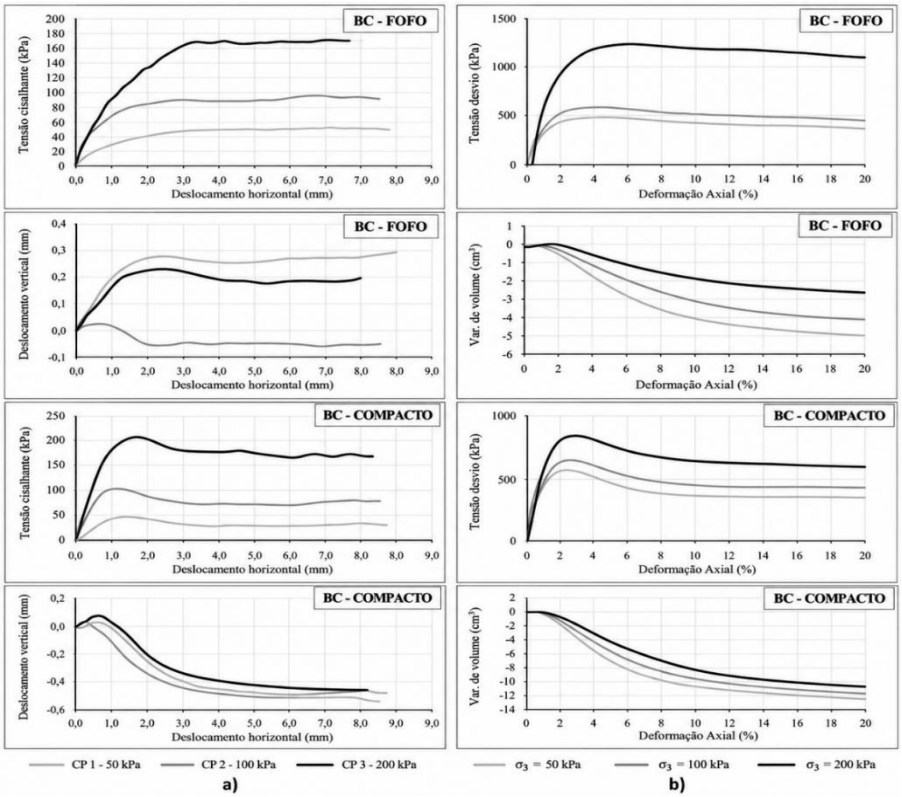
Índices e parâmetros	Valores
Umidade higroscópica (%)	0,14
Densidade dos grãos (g/cm³)	2,66
$CaCO_3$ (%)	9
Classificação (Dias, 1996)	Litoclástico
Índice de vazios máximo	0,56
Índice de vazios mínimo	0,38
Pedregulho (%)	26,0
Areia grossa (%)	10,0
Areia média (%)	29,0
Areia fina (%)	34
Finos (%)	1
Coeficiente de curvatura (C_c)	0,6
Coeficiente de não uniformidade (C_u)	3,5
Classificação SUCS	SP

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A análise mineralógica indicou que a amostra BC apresentou grãos mais angulosos e pouco esféricos, com presença de quartzo, fragmentos de rocha e bioclastos. A amostra foi classificada como mal selecionada. Os resultados relativos aos ensaios de FRX mostraram que a composição química é predominantemente constituída por dióxido de silício (SiO_2), com 72,04%, seguido de pentóxido de fósforo (P_2O_5), com 16,26%. Os demais componentes são óxido de cálcio (CaO), óxido de potássio (K_2O), óxido de alumínio (Al_2O_3), dióxido de titânio (TiO_2) e outros constituintes, todos em proporções inferiores a 3%. O elevado teor de dióxido de silício sugere predominância de minerais silicáticos, especialmente quartzo, enquanto a presença expressiva de pentóxido de fósforo pode estar associada a minerais fosfatados ou componentes biogênicos.

Na Figura 1 estão apresentadas as curvas tensão cisalhante x deslocamento horizontal e a curva deslocamento vertical x deslocamento horizontal, obtidas no ensaio de cisalhamento direto.

Figura 1. Curvas obtidas nos ensaios de resistência. (a) Ensaio de cisalhamento direto. (b) Ensaio triaxial. (Autores, 2026)



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A primeira curva representa a evolução da tensão cisalhante (τ) mobilizada no plano de ruptura em função do deslocamento horizontal imposto ao corpo de prova, indicando o comportamento tensão-deformação. A segunda curva relaciona a evolução da resistência ao cisalhamento às alterações volumétricas que ocorrem durante a ruptura, convencionando-se valores positivos de deslocamento vertical correspondentes à dilatação do corpo de prova, enquanto valores negativos indicam contração.

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto e triaxiais da amostra BC evidenciam a influência do estado de compactação e do nível de tensão aplicado no comportamento mecânico do material. As curvas mostram diferenças tanto na resistência mobilizada quanto nas deformações horizontais e axiais, além de respostas distintas em termos de variação volumétrica. Nos ensaios de cisalhamento direto, a condição fofa apresenta aumento da tensão cisalhante seguido de uma tendência à estabilização, principalmente para a maior tensão normal.

Na condição compacta, observa-se um pico de resistência mais pronunciado, especialmente para a tensão normal de 200 kPa, seguido de redução gradual e posterior estabilização da tensão cisalhante. Esse comportamento indica maior resistência de pico no estado compacto, associada ao rearranjo dos grãos e à mobilização de mecanismos de dilatância durante o cisalhamento.

A resposta vertical reforça essa interpretação: na condição fofa, as curvas apresentam comportamentos distintos, com ocorrência de contração em uma das condições de carregamento e deslocamentos verticais positivos nas demais. Na condição compacta, após um pequeno deslocamento vertical inicial positivo, predomina a contração, que se torna mais evidente com o avanço do cisalhamento. Esse resultado mostra que a resposta volumétrica depende do estado inicial do material e da tensão normal aplicada.

Nos ensaios triaxiais, a condição fofa apresenta aumento da tensão desviadora até um patamar relativamente estável, sem um pico tão acentuado quanto o observado na condição compacta. Para esta última, as curvas apresentam picos de tensão desviadora mais definidos, seguidos de redução e estabilização em níveis inferiores aos máximos mobilizados.

A diferença entre as respostas indica maior mobilização de resistência de pico no estado compacto, enquanto a condição fofa apresenta comportamento mais gradual. A variação volumétrica é negativa nas duas condições, indicando contração durante o cisalhamento, sendo que a magnitude dessa contração é maior na condição compacta, sobretudo para a menor tensão confinante, enquanto o aumento do confinamento tende a reduzir a variação volumétrica observada.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos parâmetros obtidos a partir da análise gráfica e da aplicação das correlações a partir dos ensaios de cisalhamento direto e triaxial estático, conforme apresentado por Das e Sobhan (2018) e Head (1992).

Tabela 2. Parâmetros obtidos nos ensaios de resistência

Condição	c' (kPa)	φ' (°)		ν	E (MPa)	K (MPa)	G (MPa)	K_0	ψ (°)
	Triaxial	Cisalhamento Direto	Triaxial	Triaxial					
Fofo	16	42	37	0,25	65	39	26	0,4	6
Compacto	16	46	43	0,25	72	43	29	0,32	18

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados indicam que a condição compacta apresenta maiores módulos edométrico (K) e de cisalhamento (G), passando de 39 para 43 MPa e de 26 para 29 MPa, respectivamente. Essa tendência indica maior rigidez na condição compacta, coerente com o aumento do módulo de Young. Os valores foram estimados pelas relações da elasticidade linear, considerando v=0,25 para ambas as condições. O coeficiente de empuxo em repouso K_0 reduz de 0,40 para 0,32. A coesão efetiva permanece em 16 kPa e o coeficiente de Poisson em 0,25. Essas diferenças indicam que a compactação influencia a resistência ao cisalhamento e a rigidez do material, embora a interpretação dos parâmetros de deformabilidade deva considerar o método utilizado para sua determinação.

A análise da resistência dos materiais coletados nas áreas de estudo contou ainda com a determinação da resistência à compressão uniaxial das amostras de beachrocks, o que permitiu quantificar a resistência desses materiais e fornecer informações para a interpretação do comportamento do maciço da área A.

Dessa forma, os resultados complementam a caracterização geotécnica dos sedimentos da área, permitindo uma avaliação mais abrangente das condições encontradas na região da Barra do Ceará. Foram ensaiados 4 corpos de prova indeformados, cilíndricos, de 5,0 cm de diâmetro e altura entre 8,5 e 10,0 cm, coletados nos beachrocks da Barra do Ceará. A resistência à compressão simples dos beachrocks variou de 1,6 a 5,3 MPa, evidenciando diferenças entre os corpos de prova. Essa variação pode estar associada a diferenças no grau de cimentação, na porosidade e na estrutura interna do material.

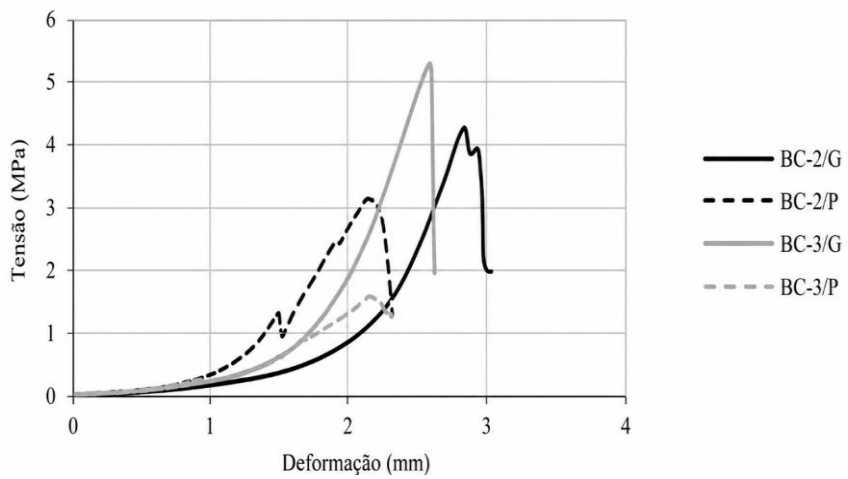
Na Figura 2 estão apresentados os registros fotográficos dos corpos de prova, enquanto as curvas tensão x deformação obtidas no ensaio estão apresentadas na Figura 3.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 2. Registro fotográfico das amostras de beachrocks da Praia da Barra do Ceará, antes e depois do ensaio de compressão uniaxial. (a) CP de 10 cm de altura. (b) CP de 8,5 cm de altura. (c) CPs rompidos. (Autores, 2026)



Figura 3. Curva tensão x deformação obtida nos ensaios de resistência à compressão simples. (Autores, *2026)*



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A comparação desses resultados com a literatura deve considerar as características dos materiais estudados e as condições dos ensaios, como no caso dos calcarenitos praiais do Mar da China Meridional investigados por Zhu, Liu e Zhou (2016).

3.2. Ensaios de campo

Na Figura 4 apresenta-se um registro fotográfico da execução do teste de efervescência com ácido para avaliação da presença de carbonato. A efervescência foi classificada como média.

Figura 4. Aplicação do teste de efervescência com ácido (TEA). (Autores, 2023)

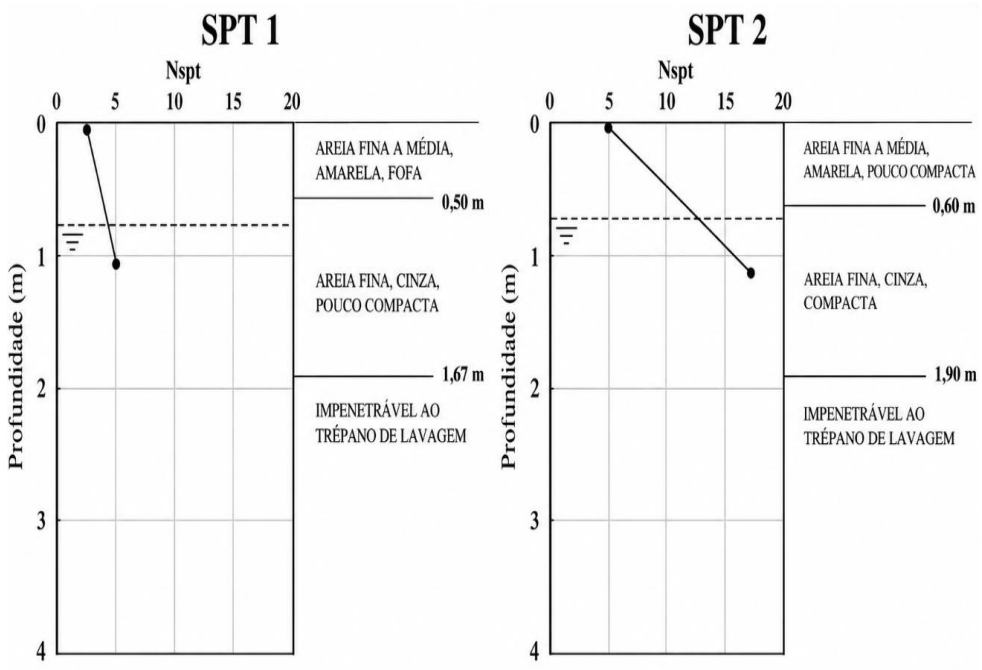


Foi realizada a sondagem a trado (ST) para verificação da espessura da camada de sedimentos e análise tátil-visual preliminar para averiguar a distribuição dos *beachrocks* em profundidade. Na linha da costa, a sondagem indicou a presença de uma camada pouco espessa de areia litoclástica sobrejacente a um material rígido. A diferença nas profundidades pode estar relacionada às condições locais do terreno e à resistência oferecida pelo material à penetração do trado. A camada rígida foi identificada como um arenito cimentado.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Na Figura 5 estão apresentados os perfis de sondagem SPT realizados na área de estudo. Vale ressaltar que a sondagem SPT foi complementada com sondagem SEV até a profundidade de 20,0 m. Os resultados da sondagem elétrica vertical estão apresentados na Figura 6.

Figura 5. Perfis de sondagem SPT. (Elaborada pelos autores, 2026)

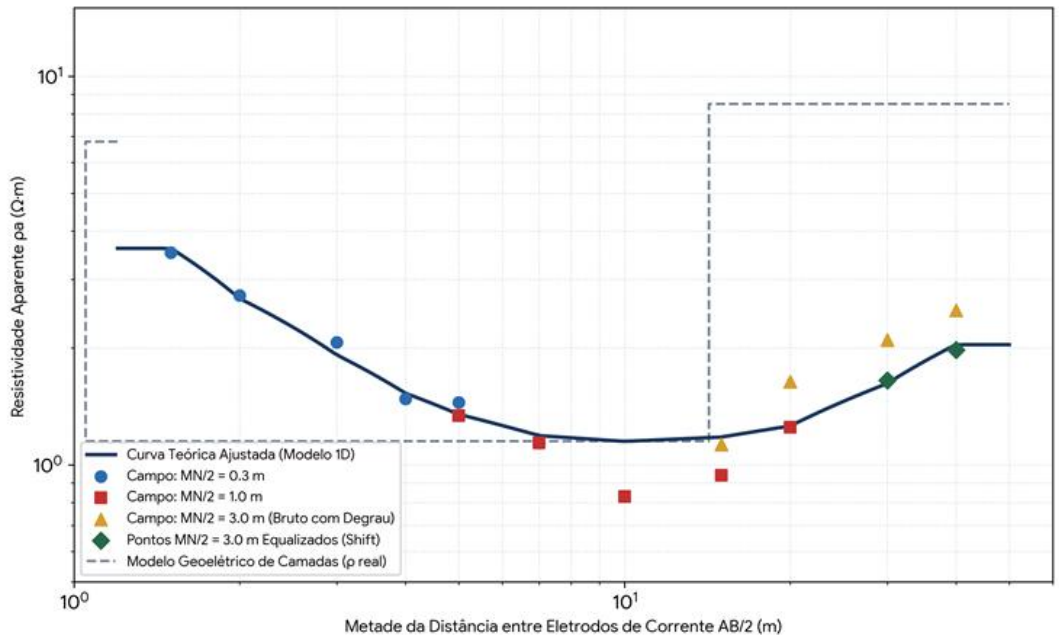


A sondagem SPT indicou um depósito de solo raso, com espessura inferior a 2 m, constituído por areias muito fofas a pouco compactas, com valores de NSPT entre 3 e 5. O aumento localizado do índice de resistência em pequena profundidade e a ocorrência de material impenetrável entre 1,67 e 1,90 m indicam a presença de uma camada cimentada. Para classificar as sequências sedimentares desse substrato quanto às suas propriedades geoelétricas, foi realizado um levantamento geofísico pelo método elétrico.

Foi realizada uma sondagem elétrica vertical (SEV), executada com disposição simétrica de eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN) (arranjo Schlumberger). A curva resistividade x profundidade obtida está apresentada na Figura 6.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 6. Saída gráfica da curva resistividade x profundidade (Autores, 2026)



Os resultados da Sondagem Elétrica Vertical (SEV 01), executada na linha de praia em Iparana, definiram um modelo geoelétrico de três camadas (curva tipo H, com erro RMS de 4,8%). A primeira camada superficial, com espessura de 1,10 m e resistividade de 7,0 Ω·m, representa os sedimentos praiais inconsolidados (areia fina na zona vadosa).

A segunda camada, com expressiva espessura de 14,30 m e baixíssima resistividade (1,15 Ω·m), reflete a zona de saturação direta por água do mar (cunha salina hipersalina ativa). A terceira camada geoelétrica, detectada a partir de 14,25 m de profundidade, apresenta resistividade de 8,5 Ω·m, marcando a transição para o manto de alteração intempérica do embasamento cristalino (saprólito de rochas metamórficas da Unidade Canindé) saturado por fluido salinizado. Ressalta-se que a blindagem condutiva imposta pelo prisma marinho e a extensão máxima praticável em campo (AB/2 = 40 m) impediram a individualização direta do topo rochoso são (não fraturado) (resistividades tipicamente superiores a centenas de Ω·m), situando-se a frente de amostragem na interface alterada.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.3. Obtenção de parâmetros

Os parâmetros geotécnicos foram estimados a partir das correlações empíricas baseadas nos resultados de sondagens de simples reconhecimento com SPT, amplamente empregadas na prática geotécnica para caracterização preliminar de solos granulares. Foram considerados os seguintes parâmetros: ângulo de atrito efetivo (φ'); peso específico natural do solo (γ_{nat}); densidade relativa (D_R); módulo de Young (E); coeficiente de Poisson (v); módulo de cisalhamento máximo (G_0); velocidade de propagação da onda cisalhante (V_s).

O ângulo de atrito efetivo e o peso específico natural foram estimados com base em correlações clássicas propostas por De Mello (1971), Godoy (1972) e Teixeira (1996). O módulo de elasticidade foi obtido a partir das relações sugeridas por Kulhawy e Mayne (1990) e Teixeira e Godoy (1996), enquanto o coeficiente de Poisson correspondeu a um valor adotado conforme recomendações de Teixeira e Godoy (1996). O módulo de cisalhamento máximo foi estimado com base nas correlações apresentadas por Schnaid (2000).

A velocidade da onda cisalhante foi estimada utilizando-se correlações propostas por Imai (1977), Seed e Idriss (1981), Sykora e Stokoe (1983), Hasancebi e Ulusay (2007) e Dikmen (2009). Por fim, a compacidade relativa foi determinada a partir das relações empíricas estabelecidas por Gibbs e Holtz (1957), Meyerhof (1957), De Mello (1971) e Skempton (1986). Os parâmetros obtidos a partir dos resultados (N_{SPT}) das duas sondagens executadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros obtidos a partir do ensaio SPT

Furo	Prof. (m)	N_{SPT}	γ (kN/m³)	φ' (°)	E (MPa)	v	G_0 (MPa)	V_s (m/s)	D_R
SPT 1	0 – 1	3	17	29	7	0,20	12	114	0,37
	1 – 2	5	19	30	12	0,20	24	139	0,43
SPT 2	0 – 1	5	17	31	12	0,20	17	139	0,47
	1 – 2	19	21	41	52	0,40	73	241	0,88

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados indicam um comportamento fortemente heterogêneo e pouco representativo de um depósito arenoso convencional, evidenciando limitações importantes na interpretação baseada exclusivamente em correlações com o SPT. Os valores reduzidos de N nas camadas superficiais (de 3 a 5), associados a baixos módulos de deformabilidade (de 7 a 12 MPa), velocidades de onda cisalhante inferiores a 140 m/s e densidades relativas abaixo de 45%, indicam um material extremamente deformável, compatível com areias muito fofas.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em contraposição, a ocorrência de valores elevados de N_{SPT} em pequenas profundidades, associados a parâmetros significativamente superiores (φ' = 41°, E = 52 MPa, Vs = 241 m/s e D_R = 0,88), sugere uma mudança abrupta no comportamento mecânico do material, que não pode ser explicada apenas por um aumento gradual de compacidade. Esse contraste indica, de forma mais consistente, a presença de níveis localizados de cimentação carbonática, fragmentos bioclásticos ou transição para material parcialmente litificado, como beachrocks ou arenitos cimentados, conforme corroborado pela sondagem rotativa.

Essa variação brusca de propriedades em um intervalo inferior a 2 m reforça a natureza altamente heterogênea do depósito, típica de ambientes litorâneos, devido à dinâmica costeira sedimentar, variações no nível do mar e processos de cimentação. Do ponto de vista geotécnico, tal comportamento compromete a representatividade dos parâmetros obtidos por correlações empíricas, uma vez que o SPT tende a refletir condições locais muito específicas, sem capturar adequadamente a variabilidade lateral do meio.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo caracterizar geotecnicamente o depósito arenoso da Barra do Ceará em Fortaleza, Ceará, e discutir suas implicações para estudos preliminares de fundações *offshore*. Os resultados permitiram identificar as características físicas e mineralógicas do material e analisar a influência da heterogeneidade local sobre a resposta dos ensaios de campo. A amostra investigada corresponde a uma areia predominantemente litoclástica, com teor de carbonato de cálcio próximo de 9% e presença de fragmentos bioclásticos. Os resultados do SPT indicaram variações expressivas de resistência em pequena profundidade, cuja interpretação, em conjunto com a SEV, apontou para a possível influência de beachrocks e de níveis localmente mais rígidos. Esse comportamento evidencia que o aumento da resistência à penetração não deve ser atribuído automaticamente à maior compacidade do solo.

Os resultados também mostram limitações na aplicação direta de correlações empíricas desenvolvidas para areias predominantemente quartzosas em depósitos costeiros heterogêneos e parcialmente cimentados. Embora os dados sejam úteis para uma avaliação preliminar, a definição de parâmetros para o dimensionamento de fundações *offshore* exige investigação complementar e consideração das condições de carregamento, incluindo os efeitos cíclicos do vento e das ondas.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Como contribuição, o estudo demonstra a importância de integrar a caracterização física e mineralógica às investigações de campo para interpretar adequadamente o perfil geotécnico. Recomenda-se ampliar as sondagens e utilizar métodos complementares que permitam definir melhor a estratigrafia e avaliar a resistência e a deformabilidade in situ. Essas medidas poderão fornecer uma base mais consistente para futuras análises de interação solo–fundação na região.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 6458: grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. NBR 6484: solo — sondagem de simples reconhecimento com SPT — método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020a.

ABNT. NBR 7117-1: parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos — Parte 1: medição da resistividade e modelagem geoelétrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2020b. Versão corrigida, 2021.

ABNT. NBR 7181: solo — análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D3080/D3080M-23e1: standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2023. DOI: https://doi.org/10.1520/D3080_D3080M-23E01.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D4254-16: standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. DOI: https://doi.org/10.1520/D4254-16.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D7181-20: standard test method for consolidated drained triaxial compression test for soils. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020. DOI: https://doi.org/10.1520/D7181-20.

BLAKER, Ø. *et al*. Method dependency for determining maximum and minimum dry unit weights of sands. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRONTIERS IN OFFSHORE GEOTECHNICS, 3., 2015, Oslo. *Proceedings* [...]. London: CRC Press, 2015.

BOGGS, S. Principles of sedimentology and stratigraphy. 5. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2014.

CATAÑO, J.; PANDO, M. A. Static and dynamic properties of a calcareous sand from southwest Puerto Rico. In: GEOFLORIDA 2010: ADVANCES IN ANALYSIS, MODELING & DESIGN, 2010. Proceedings [...]. Reston: American Society of Civil Engineers, 2010. p. 842–851. DOI: https://doi.org/10.1061/41095(365)83.

CHENG, Y. P.; NAKATA, Y.; BOLTON, M. D. Discrete element simulation of crushable soil. Géotechnique, v. 53, n. 7, p. 633–641, 2003.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

COOP, M. R.; AIREY, D. W. Carbonate sands. In: TAN, T. S. *et al.* (ed.). Characterisation and engineering properties of natural soils. Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. p. 1049–1086.

DAS, B. M.; SOBHAN, K. Principles of geotechnical engineering. 9. ed. Boston: Cengage Learning, 2018.

DE MELLO, V. F. B. The standard penetration test. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 1971. Proceedings [...]. New York: American Society of Civil Engineers, 1971.

DIAS, G. T. M. Classificação de sedimentos marinhos: proposta de representação em cartas sedimentológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. *Anais* [...]. Salvador: SBG, 1996. p. 423-426.

DIKMEN, Ü. Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. Journal of Geophysics and Engineering, v. 6, n. 1, p. 61–72, 2009. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-2132/6/1/007.

DNV. DNV-ST-0126: support structures for wind turbines. Edition 2021-12. Høvik: DNV, 2021.

DONOHUE, S.; O'SULLIVAN, C.; LONG, M. Particle breakage during cyclic triaxial loading of a carbonate sand. Géotechnique, v. 59, n. 5, p. 477–482, 2009. DOI: https://doi.org/10.1680/geot.2008.T.003.

DYVIK, R.; MADSHUS, C. Lab measurements of Gmax using bender elements. In: KHOSLA, V. (ed.). *Advances in the art of testing soils under cyclic conditions*. New York: American Society of Civil Engineers, 1985. p. 186-196.

GIBBS, H. J.; HOLTZ, W. G. Research on determining the density of sands by spoon penetration testing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4., 1957, Londres. Proceedings [...]. Londres, 1957. v. 1, p. 35–39.

GODOY, N. S. Fundações: notas de aula. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1972.

GONÇALVES, D. R. L.; NASCIMENTO, D. A. do; ALVES, V. L. da S.; SOBREIRA, J. F. F.; MOURA, A. S. Caracterização de areias carbonáticas do litoral cearense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 20.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS, 10., 2024. Anais [...]. 2024. DOI: https://doi.org/10.47094/COBRAMSEG2024/604.

HARDIN, B. O. Crushing of soil particles. Journal of Geotechnical Engineering, v. 111, n. 10, p. 1177–1192, 1985.

HASANCEBI, N.; ULUSAY, R. Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 66, p. 203–213, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s10064-006-0063-0.

HEAD, K. H. Manual of soil laboratory testing: effective stress tests. 2. ed. v. 3. Chichester: Wiley, 1992.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

HYODO, M. *et al*. Cyclic strength and deformation of crushable carbonate sand. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 15, p. 331–336, 1996. DOI: https://doi.org/10.1016/0267-7261(96)00003-6.

IMAI, T. P- and S-wave velocities of the ground in Japan. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 9., 1977, Tokyo. Proceedings [...]. Tokyo, 1977.

KULHAWY, F. H.; MAYNE, P. W. Manual on estimating soil properties for foundation design. Palo Alto: Electric Power Research Institute, 1990. (EPRI Report EL-6800).

LAMAS, F.; IRIGARAY, C.; OTEO, C.; CHACÓN, J. Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. Engineering Geology, v. 81, n. 1, p. 32–41, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.07.005.

MAIA DE ALMEIDA, N.; FREIRE, G. S. S.; MORAIS, J. O.; XIMENES NETO, A. R.; ABREU NETO, J. C.; PESSOA, P. R. S.; FERRO, I. M. M.; PINHEIRO, L. S. Plataforma Continental do Ceará. In: VITAL, H.; DIAS, M. S.; BASTOS, A. C. (org.). Plataforma Continental Brasileira: série II. Rio de Janeiro: [s. n.], 2021.

MEYERHOF, G. G. Discussion on research on determining the density of sands by spoon penetration testing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4., 1957, Londres. Proceedings [...]. Londres, 1957. v. 3, p. 110.

POLEMIS JÚNIOR, K.; MOURA, A. S.; VERÍSSIMO, C. U. V.; SILVA FILHO, F. C.; NASCIMENTO, D. A.; CORDEIRO SILVA, R. A.; LIMA, D. R. Influence of carbonate content on the shear strength of a beach sand from the northeastern coast of Brazil. In: Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society. London: CRC Press, 2024. p. 1–6.

SEED, H. B.; IDRISS, I. M. Evaluation of liquefaction potential of sand deposits based on observations of performance in previous earthquakes. [S. l.]: American Society of Civil Engineers, 1981. (ASCE National Convention, Missouri, p. 81–544).

SCHNAID, F. Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 189 p.

SKEMPTON, A. W. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. Géotechnique, v. 36, n. 3, p. 425–447, 1986. DOI: https://doi.org/10.1680/geot.1986.36.3.425.

SYKORA, D. E.; STOKOE, K. H. Correlations of in-situ measurements in sands of shear wave velocity. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1983.

TEIXEIRA, A. H. Projeto e execução de fundações. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA (SEFE). Anais [...]. São Paulo: [s. n.], 1996. v. 1.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: HACHICH, W. *et al*. (ed.). Fundações: teoria e prática. São Paulo: Pini, 1996. p. 227–264.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

TUCKER, M. E. Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks. 3. ed. Oxford: Blackwell Science, 2001.

VIGGIANI, G.; ATKINSON, J. H. Interpretation of bender element tests. *Géotechnique*, v. 45, n. 1, p. 149-154, 1995. DOI: https://doi.org/10.1680/geot.1995.45.1.149.

ZHU, C.; LIU, H.; ZHOU, B. Micro-structures and the basic engineering properties of beach calcarenites in South China Sea. Ocean Engineering, v. 114, p. 224–235, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.01.009.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.