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/COBRAMSEG2026.6/24

Avaliação da Resistência à Compressão Simples de um Solo Utilizando Geossintético Como Reforço

Carlos Eduardo de Lima Prado
Engenheiro Civil, Instituto Federal de Alagoas – IFAL, Maceió, Brasil, cadulima.maceio@hotmail.com

Isabelly Farias Gama
Engenheiro Civil, Instituto Federal de Alagoas – IFAL, Maceió, Brasil, isabellygamaf@gmail.com

Taise Monique de Oliveira Carvalho
Professora Doutora, Instituto Federal de Alagoas – IFAL, Maceió, Brasil, taise.carvalho@ifal.edu.br

Sheldon Cristiano Souza da Silva
Engenheiro Civil e Técnico do IFAL, Instituto Federal de Alagoas, Maceió, Brasil, sheldon.cristiano@ifal.edu.br

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo investigar a resistência à compressão simples de um solo argiloso (SC) da região de Maceió-AL, Brasil, quando reforçado com geossintéticos, especificamente geogrelha unidirecional e geotêxtil do tipo MacGrid Net®. Para tanto, foi realizada a caracterização física do solo, a determinação da curva de compactação e a avaliação comparativa da resistência à compressão do solo não reforçado e reforçado. A metodologia compreendeu ensaios de limites de consistência (LL de 24,46% e LP de 13,76%), análise granulométrica e ensaios de compactação, tendo como resultado uma massa específica seca máxima de 1,84 g/cm³ e umidade ótima de 13,8%. A etapa principal envolveu ensaios de compressão simples com corpos de prova de solo não reforçado (CP-S), solo reforçado com geogrelha (CP-GGR) e solo reforçado com geotêxtil (CP-GTX), seguindo a ABNT (NBR 12770, 2022). Os resultados demonstraram que a geogrelha aumentou a resistência à compressão simples em aproximadamente 36,75%, enquanto o geotêxtil proporcionou um ganho de 8,54%. Para pequenas deformações (2% de deformação axial), a resistência aumentou cerca de 52% com a geogrelha e 64% com o geotêxtil, em comparação com o solo não reforçado. Perspectivas futuras incluem o estudo de diferentes tipos de geossintéticos, variações de layout, ensaios triaxiais, e estudos em escala de campo para validação técnica e econômica.

PALAVRAS-CHAVE: geossintéticos; resistência; solo reforçado; compressão; geogrelha.

ABSTRACT: This study investigated the unconfined compressive strength behavior of a clayey sand (SC) from the Maceió–AL region, Brazil, reinforced with geosynthetics, namely a unidirectional geogrid and a MACGRID NET® geotextile. Physical characterization and compaction tests were performed, followed by unconfined compression tests on unreinforced specimens and reinforced specimens, in accordance with ABNT NBR 12770 (2022). The soil presented a maximum dry unit weight of 1.84 g/cm³ and an optimum moisture content of 13.8%. The results showed that geogrid reinforcement increased the unconfined compressive strength by approximately 36.75%, while the geotextile provided an increase of 8.54%. At small axial deformations (2%), strength gains of about 52% and 64% were observed for geogrid- and geotextile-reinforced specimens, respectively, compared to unreinforced soil. Future studies may address different geosynthetic types, reinforcement layouts, triaxial testing, and field-scale applications to assess technical and economic feasibility

KEYWORDS: geosynthetics; strength; reinforced soil; compression; geogrid.

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia, diversas técnicas são empregadas cotidianamente para melhorar a resistência do solo em obras geotécnicas. Tais métodos consistem em promover uma melhora nas características mecânicas do maciço, possibilitando que o solo seja capaz de resistir aos esforços submetidos por diversos fatores e permitindo com que cada obra tenha suas necessidades atendidas.

Em algumas construções da antiga civilização, como os zigurates e a muralha da China, o método do reforço do solo, conforme Terzaghi, Peck e Mesri (1996), já era aplicado, visto que os zigurates, eram constituídos por camadas de solos argilosos fortalecidos com a utilização de galhos e juncos, e a muralha da China, utilizando-se de fibras naturais em suas parcelas de argila e cascalho.

No Brasil, a utilização de geossintéticos para reforço do solo seguiu o avanço internacional e ganhou notoriedade a partir da década de 1970, sendo utilizados inicialmente em obras rodoviárias (Carvalho; Pedrosa; Wolle, 1986). A ABNT (NBR 10318-1, 2021) define diversas funções para esses materiais, como drenagem, filtração, reforço, separação e proteção.

No cenário atual da engenharia civil, a busca por soluções inovadoras e economicamente viáveis para o reforço de solos é constante, especialmente em regiões com características geotécnicas desafiadoras, como as encontradas em Maceió, AL. A instabilidade de taludes e a baixa capacidade de suporte de solos são problemas comuns que demandam técnicas eficientes e de baixo custo. Nesse contexto, a utilização de geossintéticos, em particular as geogrelhas e geotêxteis, surge como uma alternativa promissora devido à sua capacidade de aumentar a resistência mecânica do solo e otimizar projetos geotécnicos. Essa abordagem é frequentemente destacada por autores como Palmeira (2009) e Koerner (2012) ao abordarem a evolução e as vantagens dos geossintéticos em obras geotécnicas.

Diante deste cenário, o presente trabalho consiste em avaliar o comportamento de um solo da região de Maceió com o uso de geogrelha e geotêxtil, aplicados separadamente, comparando os parâmetros de resistência à compressão simples do solo com e sem o uso dos materiais propostos, a fim de que se contribua para a aplicação eficiente de geossintéticos em obras geotécnicas locais e ampliar o conhecimento sobre o desempenho desses materiais em solos com características regionais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Solo e caracterização geotécnica

O solo utilizado foi coletado em Maceió–AL, nas proximidades da Rua Diégues Júnior, entre o Vale do Reginaldo e a ladeira Dr. Geraldo Melo dos Santos, em área representativa de encostas urbanas sujeitas a instabilidades. A amostragem foi realizada com ferramentas manuais, seguindo recomendações da ABNT NBR 9604:2016, com cuidado para evitar contaminação e preservar as características naturais do material até sua chegada ao laboratório.

O preparo das amostras obedeceu à ABNT NBR 6457:2016, incluindo secagem ao ar até umidade higroscópica, destorroamento, quarteamento e peneiramento para obtenção de frações representativas para os ensaios. A caracterização física compreendeu ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), conduzidos segundo a ABNT NBR 6459:2016 e ABNT NBR 7180:2016, respectivamente, além de análise granulométrica por peneiramento, conforme a ABNT NBR 7181:2025.

2.2 Ensaios de compactação

Os ensaios de compactação foram executados de acordo com a ABNT NBR 7182:2016, empregando energia Proctor normal em molde cilíndrico pequeno, com amostras previamente preparadas conforme a ABNT NBR 6457:2016. Foram moldados corpos de prova em três camadas, com 26 golpes por camada, variando-se o teor de umidade para construção da curva de compactação e determinação da massa específica seca máxima e umidade ótima.

2.3 Geossintéticos utilizados

Foram empregados dois geossintéticos distintos como elementos de reforço. O primeiro é um geotêxtil do tipo MacGrid Net®, classificado como tecido técnico, produzido com filamentos de poliéster de alta tenacidade revestidos com PVC, com gramatura da ordem de 300 g/m² e espessura aproximada de 0,6 mm, além de resistência à tração mínima de 45 kN/m nas direções longitudinal e transversal e alongamento máximo de 15% (Maccaferri, 2019).

O segundo reforço é uma geogrelha unidirecional de poliéster de alta tenacidade, com resistência característica à tração de 400 kN/m na direção principal e abertura de malha de 1,5 cm, desenvolvida para aplicações em que a solicitação predominante é uniaxial. Ambos os materiais foram cortados e posicionados entre camadas de solo durante a moldagem dos corpos de prova, conforme Figura 2.

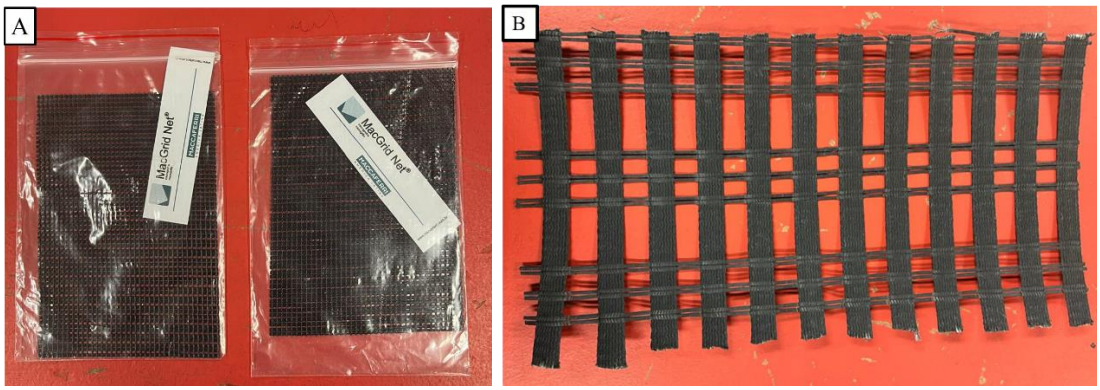


Figura 1: Geotêxtil MacGrid Net (A); Geogrelha unidirecional (B)

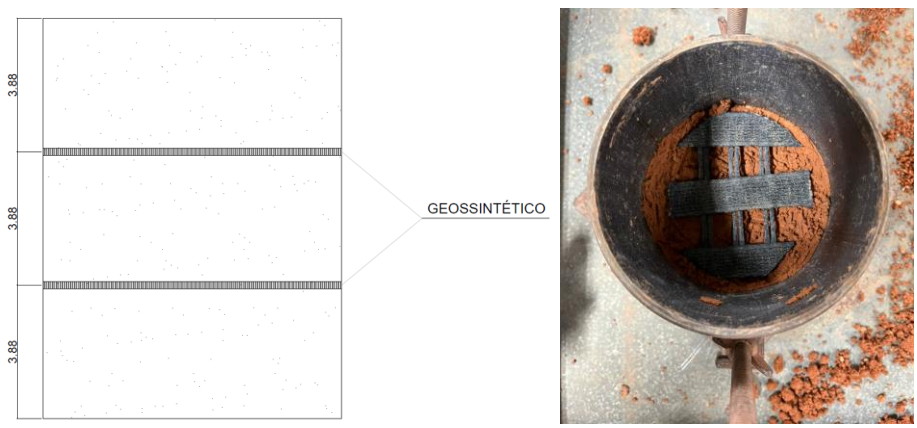


Figura 2: Disposição e possionamento dos geossintéticos entre as camadas

2.4 Ensaios de compressão simples

Os ensaios de compressão simples foram realizados segundo a ABNT NBR 12770:2022, em corpos de prova cilíndricos moldados no molde pequeno, com diâmetro aproximado de 100 mm e altura de cerca de 110 mm, compactados em condições próximas à umidade ótima. Foram avaliados três tipos de amostras: solo não reforçado (CP-S), solo reforçado com geogrelha (CP-GGR) e solo reforçado com geotêxtil (CP-GTX).

Os reforços foram inseridos em camadas intermediárias durante a compactação, adotando arranjo de camadas alternadas de solo e geossintético. Dificuldades de aderência entre camadas levaram ao descarte de algumas amostras, em especial quando a malha da geogrelha mostrava-se maior que o diâmetro interno do molde e quando o geotêxtil ocupava toda a seção, exigindo posterior redução do diâmetro do geotêxtil para criar um “anel de contato” de solo na periferia do corpo de prova.

Após a moldagem, os corpos de prova foram posicionados em prensa com controle de deformação axial, adotando-se velocidade entre 0,5% H/min e 2% H/min, onde H é a altura da amostra, até a ruptura, registrando-

se continuamente carga e deslocamento para obtenção das curvas tensão–deformação. As umidades finais dos corpos de prova foram determinadas por amostras retiradas do centro após o ensaio.



Figura 3: Corpo de prova reforçado durante o ensaio de compressão simples

Quadro 1: Lista de corpos de provas para o ensaio de compressão simples.

Solo	Geogrelha	Geotêxtil
CP-S-01	CP-GGR-01	CP-GTX-01
CP-S-02	CP-GGR-02	CP-GTX-02*
CP-S-03	CP-GGR-03*	

Nota: *Amostras descartadas

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaios de caracterização geotécnica do solo

Foram obtidos LL de 24,46% e LP de 13,76%, resultando em índice de plasticidade igual a 10,71%, o que caracteriza o solo como de plasticidade média. A curva granulométrica indicou composição aproximada de 9% de pedregulho, 49% de areias (grosseira, média e fina) e 42% de frações finas (silte + argila), permitindo sua classificação pelo SUCS como areia argilosa (SC).

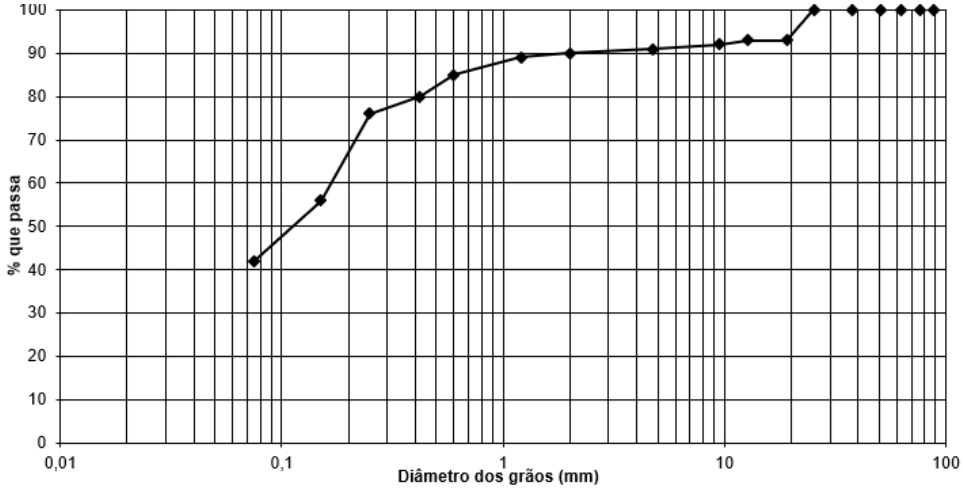


Figura 4:Curva granulométrica.

A curva de compactação obtida revelou massa específica seca máxima de 1,84 g/cm³ para um teor de umidade ótimo de 13,8%, valores adotados como referência para a moldagem dos corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão simples.

3.2 Corpos de prova de solo não reforçado (CP-S)

Foram ensaiados três corpos de prova de solo sem qualquer tipo de reforço (CP-S-01, CP-S-02 e CP-S-03). Os resultados individuais de resistência à compressão simples (Qu), deformação na ruptura e umidade para cada um desses corpos de prova são apresentados na Tabela 1. As curvas de tensão-deformação correspondentes são mostradas na Figura 5, ilustrando o comportamento mecânico do solo natural sob carregamento axial.

Tabela 1. Resultados dos Ensaios CP-S.

Amostras	Qu (kPa)	Deformação na ruptura (%)	y (g/cm³)	w (%)	Índice de vazios	Grau de saturação (%)
CP-S-01	230	5,5	1,83	13,85	0,48	78,23
CP-S-02	227	5,8	1,80	14,10	0,50	76,68
CP-S-03	245	5,3	1,72	11,59	0,57	54,50

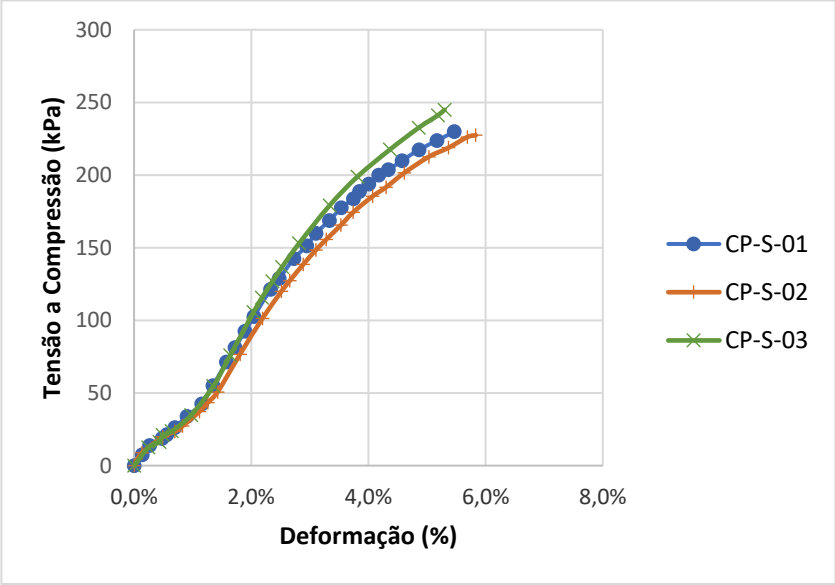


Figura 5: Curva Tensão x Deformação (CP-S).

3.3 Corpos de prova de solo reforçado com geogrelha (CP-GGR)

Para avaliar o efeito do reforço com geogrelha, foram ensaiados dois corpos de prova de solo incorporando com geogrelha do tipo unidirecional com resistência a tração de 400kn/m (CP-GGR-01 e CP-GGR-02). Os resultados detalhados são apresentados na Tabela 2, e suas respectivas curvas de tensão-deformação podem ser observadas na Figura 6.

Tabela 2: Resultados dos Ensaios (CP-GGR).

Amostras	Qu (kPa)	Deformação na ruptura (%)	y (g/cm³)	w (%)	Índice de vazios	Grau de saturação (%)
CP-GGR-01	333	7,2	1,75	12,40	0,54	62,16
CP-GGR-02	308	4,6	1,82	12,23	0,49	68,03

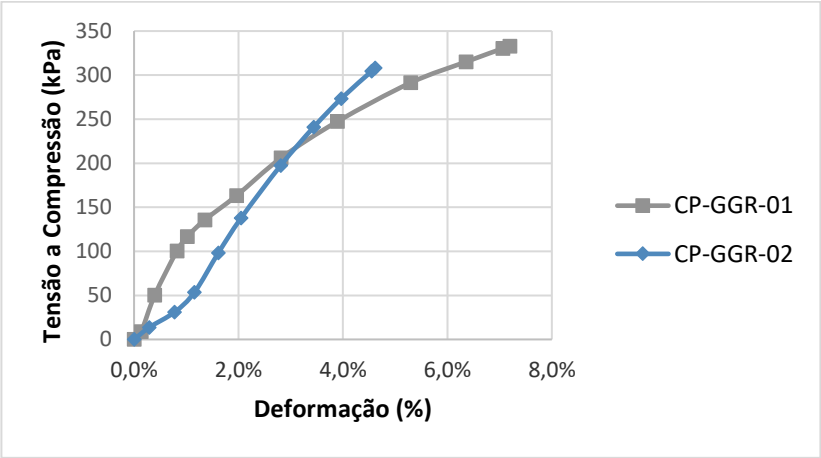


Figura 6: Curva Tensão x Deformação (CP-GGR).

3.4 Corpo de prova de solo reforçado com geotêxtil (CP-GTX).

Um corpo de prova de solo reforçado com geotêxtil tipo MACGRID NET (CP-GTX-01) também foi ensaiado para fins comparativos. A Tabela 3 apresenta seus resultados, e a Figura 7 ilustra a curva de tensão-deformação obtida.

Tabela 3: Resultado dos Ensaios (CP-GTX).

Amostras	Qu (kPa)	Deformação na ruptura (%)	y (g/cm³)	w (%)	Índice de vazios	Grau de saturação (%)
CP-GTX-02	254	9,1	1,76	14,32	0,53	72,81

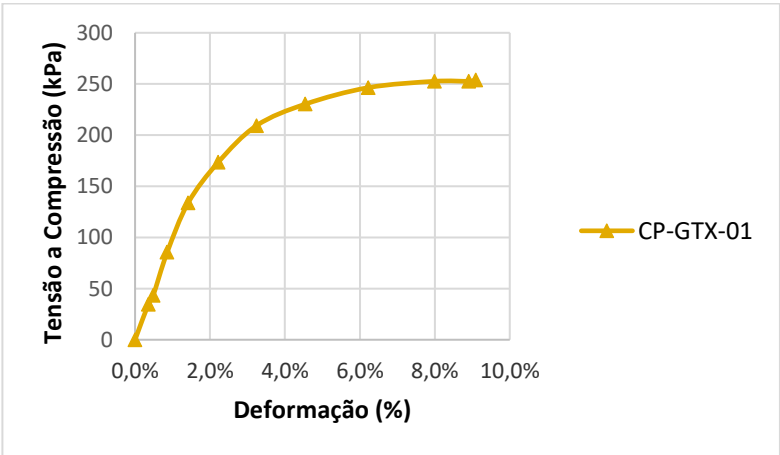


Figura 7: Curva Tensão x Deformação (CP-GTX).

3.5 Considerações e comparação dos resultados

Para uma análise comparativa mais abrangente, a Tabela 4 apresenta os valores de resistência à compressão simples em deformações de 2%, 4% e na ruptura para cada condição de ensaio. A Figura 8 condensa as curvas de tensão-deformação, permitindo uma visualização direta do impacto do reforço.

Tabela 4: Resultados dos ensaios.

Corpo de Prova	Qu (kPa)	Qu na deformação de 4% (kPa)	Qu na deformação de 2% (kPa)	Deformação na Ruptura (%)	Umidade (%)
CP-S-01	230	194	102	5,50	13,85

Corpo de Prova	Qu (kPa)	Qu na deformação de 4% (kPa)	Qu na deformação de 2% (kPa)	Deformação na Ruptura (%)	Umidade (%)
CP-S-02	227	182	89	5,80	14,1
CP-S-03	245	205	106	5,30	11,59
Média CP-S	234	194	99	5,50	13,18
CP-GGR-01	333	247	163	7,20	12,4
CP-GGR-02	308	273	138	4,60	12,23
Média CP-GGR	320	260	151	5,90	12,32
CP-GTX-01	254	222	163	9,10	14,32
Média CP-GTX	254	222	163	9,10	14,32

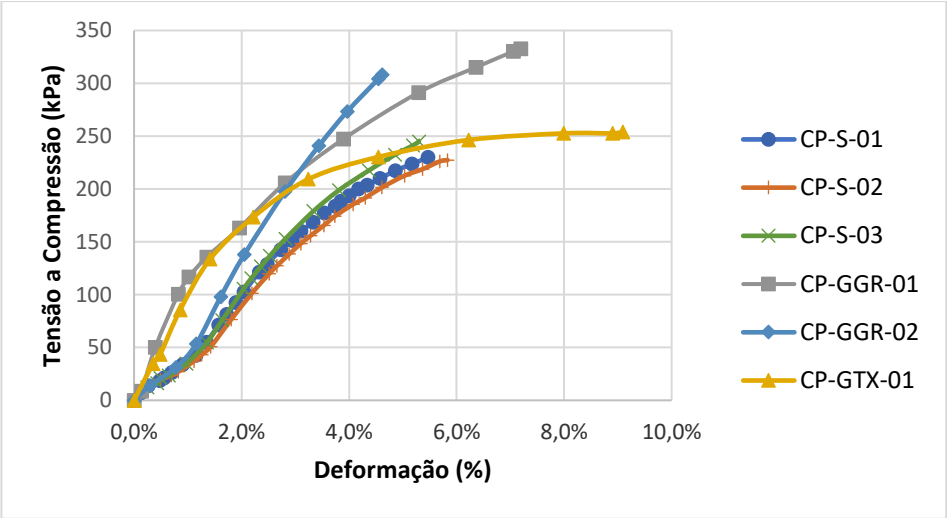


Figura 8: Curva Tensão x Deformação de todos os CPs ensaiados.

Observa-se que a introdução do reforço geossintético alterou o comportamento do solo em relação à sua resistência e deformação. A resistência à compressão simples média do solo não reforçado (CP-S) foi de aproximadamente 234 kPa. Para os corpos de prova reforçados com geogrelha (CP-GGR), a resistência média aumentou para 320 kPa, representando um incremento de cerca de 36,75% em relação ao solo não reforçado. Esse aumento demonstra a eficácia da geogrelha em absorver tensões de tração, elevando sua capacidade de carga.

Quanto ao corpo de prova reforçado com geotêxtil (CP-GTX), a resistência foi de 254 kPa, o que representa um aumento de aproximadamente 8,54% em comparação com o solo não reforçado. Embora o geotêxtil também promova um incremento na resistência, o desempenho da geogrelha foi superior neste estudo. Essa diferença pode ser atribuída à estrutura de malha aberta da geogrelha, que permite um melhor engajamento e interação solo-reforço através do intertravamento, enquanto o geotêxtil não tecido atua mais por fricção superficial.

Além do aumento da resistência máxima, a presença do geossintético também influenciou significativamente o comportamento do solo para pequenas deformações. Para uma deformação axial de 2%, a resistência média do solo não reforçado (CP-S) foi de aproximadamente 99 kPa. Em contraste, a resistência média do solo reforçado com geogrelha (CP-GGR) alcançou 151 kPa, e com geotêxtil (CP-GTX), 163 kPa, representando um aumento significativo de cerca de 52% para a geogrelha, e 64% para o geotêxtil. Esse ganho inicial deresistência e rigidez para pequenas deformações indica que o reforço geossintético começa a atuar efetivamente desde os estágios iniciais do carregamento, proporcionando maior estabilidade e menor deformabilidade sob condições de serviço.

4 CONCLUSÕES

O estudo permitiu avaliar a influência de geogrelha unidirecional e de geotêxtil tipo MacGrid Net® na resistência à compressão simples de um solo classificado como SC (areia argilosa) da região de Maceió–AL. Os ensaios de caracterização indicaram LL de 24,46%, LP de 13,76% e índice de plasticidade de 10,71%, além de composição granulométrica compatível com solos arenosos finos com fração argilosa significativa.

A curva de compactação Proctor normal resultou em massa específica seca máxima de 1,84 g/cm³ e umidade ótima de 13,8%, adotadas como referência para a moldagem dos corpos de prova submetidos à compressão simples. Tomando como base o solo não reforçado, com resistência média de 234 kPa, o reforço com geogrelha elevou a resistência à compressão simples em cerca de 36,75%, enquanto o geotêxtil proporcionou aumento aproximado de 8,54%.

Essa performance aprimorada, especialmente perceptível desde os estágios iniciais de deformação, valida o potencial dos geossintéticos para a estabilização de solos. Os resultados confirmam que tais reforços são capazes de conferir maior estabilidade e reduzir a deformabilidade do maciço sob carregamento axial, e demonstrando um impacto positivo na rigidez do solo em pequenas deformações, onde a resistência para 2% de deformação aumentou em aproximadamente 52% com a geogrelha e 64% com o geotêxtil em comparação com o solo não reforçado.

Os resultados deste estudo são de relevância para a engenharia geotécnica em Maceió e em regiões com solos de características similares, demonstrando que a utilização de geossintéticos, em particular a geogrelha, é uma solução eficaz para otimizar projetos geotécnicos e aumentar a capacidade de suporte de solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6457. *Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2017). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA (2016). NBR 7180. Solo – *Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2025). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7182. *Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). NBR 8044. *Projeto geotécnico - Procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2021). NBR ISO 10318-1. *Geossintéticos – Parte 1: Termos e definições*. Rio de Janeiro.

CARVALHO, P A S e PEDROSA, J A B A e WOLLE, Claudio Michael. *Aterro eforçado com geotexteis: uma opção alternativa para a engenharia geotécnica*. 1986, Anais... São Paulo: Abms, 1986.

CASAGRANDE, A. *Research on the Atterberg Limits of Soils. Public Roads*, v. 13, n. 8, p. 121-130, 1932.

KOERNER, R. M. *Designing with Geosynthetics*. 6th ed. Xlibris Corporation, 2012.

MACCAFERRI. *E-8.2.2-605 – rev. 03: Especificação técnica – MacGrid NET*. Belo Horizonte: Maccaferri do Brasil, 2019. Disponível em: www.maccaferri.com.br . Acesso em: 20 abr. 2025.

Palmeira, E. M. (2009). *Uso de geossintéticos em obras geotécnicas: panorama atual e tendências*. 2ª edição. ABMS, 2009.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.