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/COBRAMSEG2026.6/29

Comportamento tensão-deformação de geocélulas preenchidas por resíduos da construção e demolição (RCD-R)

Bruna de Carvalho Sebastião
Graduanda, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campinas, Brasil, brunasebastiao03@gmail.com

Juliana Keiko Tsugawa
Professora Doutora, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campinas, Brasil, juliana.tsugawa@mackenzie.br

RESUMO: Geocélulas são estruturas poliméricas tridimensionais utilizadas em obras geotécnicas por suas funções de reforço, confinamento, estabilidade e distribuição de tensões. Usualmente, são preenchidas por materiais granulares convencionais. Em contrapartida, a disposição incorreta dos resíduos da construção e demolição (RCD) pode causar impactos ambientais relevantes, reforçando a importância de buscar alternativas sustentáveis para o seu reaproveitamento. Assim, visando a sustentabilidade em obras geotécnicas, foi estudado o comportamento tensão-deformação de geocélulas preenchidas com RCD reciclados (RCD-R), por meio de ensaios de compressão axial. Foram utilizados agregados reciclados (brita e pedrisco) e solo-brita reciclado (SB-1 e SB-2), e materiais convencionais (brita 1 e pedrisco). As tensões suportadas, considerando o critério de ruptura de 15% de deformação, pela brita e pedrisco convencionais, pedrisco reciclado, brita reciclada, SB-1 e SB-2 foram de aproximadamente 650 kN/m^2, 550 kN/m^2, 520 kN/m^2, 430 kN/m^2, 335 kN/m^2 e 130 kN/m^2, e os valores de rigidez foram de 1,73 kN/mm, 1,42 kN/mm, 1,28 kN/mm, 1,14 kN/mm, 0,82 kN/mm e 0,32 kN/mm, respectivamente. Os resultados indicam que, embora os agregados convencionais tenham apresentado melhor desempenho em termos de resistência e rigidez, a utilização de materiais reciclados mostra-se tecnicamente viável, desde que sejam consideradas as tensões atuantes em cada aplicação geotécnica.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos da construção e demolição; geocélulas; ensaios de compressão axial; comportamento tensão-deformação; agregados.

ABSTRACT: Geocells are three-dimensional polymeric structures used in geotechnical works for reinforcement, confinement, stabilization, and stress distribution. They are usually filled with conventional granular materials. In contrast, the improper disposal of construction and demolition waste (CDW) may cause significant environmental impacts, highlighting the need for sustainable reuse alternatives. Thus, aiming to promote sustainability in geotechnical works, the stress–strain behavior of geocells filled with recycled CDW (RCD-R) was investigated through axial compression tests. Recycled aggregates (coarse crushed stone and stone chips), recycled soil–crushed stone mixtures (SB-1 and SB-2), and conventional materials (coarse crushed stone and stone chips) were used. Considering a failure criterion of 15% strain, the stresses sustained by conventional coarse crushed stone and stone chips, recycled stone chips, recycled coarse crushed stone, SB-1, and SB-2 were approximately 650, 550, 520, 430, 335, and 130 kN/m², respectively, while the corresponding stiffness values were 1.73, 1.42, 1.28, 1.14, 0.82, and 0.32 kN/mm. The results indicate that, although conventional aggregates performed better in terms of strength and stiffness, the use of recycled materials is technically feasible, provided that the stress levels involved in each geotechnical application are properly considered.

KEYWORDS: Construction and demolition waste; geocells; unconfined compression tests; stress-strain behavior; aggregates.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha papel fundamental no desenvolvimento urbano, representando aproximadamente 10% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (ABRECON, 2020). No entanto, esse setor também é responsável por grande parte da geração de resíduos sólidos no país. De acordo com a Associação

Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, em 2021 foram coletadas pelos municípios mais de 48 milhões de toneladas de resíduos da construção e demolição (RCD), o que equivale a cerca de 227 kg por habitante/ano, evidenciando a relevância desse tipo de resíduo no contexto urbano e a necessidade de sua gestão adequada (ABRELPE, 2022). A gestão inadequada desses resíduos acarreta uma degradação ambiental, manifestada pelo assoreamento de cursos d'água, pela contaminação do solo e das águas subterrâneas, pelo entupimento de sistemas de drenagem, além da poluição visual e da proliferação de vetores de doenças. Nesse contexto, destacam-se legislações como a Resolução CONAMA n° 307/2002, a qual estabelece as diretrizes para a gestão dos RCD, e a Lei n° 12.305/2010, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Tais legislações visam minimizar esses impactos e estimular o gerenciamento adequado (BRASIL, 2002; BRASIL, 2010). Dessa forma, a reciclagem surge como alternativa sustentável para mitigar esses impactos gerados pelo setor da construção civil e diminuir a extração de recursos naturais, contribuindo para a valorização desses resíduos. Porém, para aumentar o consumo dos resíduos da construção e demolição reciclados (RCD-R) são necessárias alternativas tecnicamente seguras e viáveis de reaproveitamento. Uma possibilidade de reaproveitamento consiste na utilização dos RCD-R como material preenchedor de geocélulas em substituição aos agregados naturais para obras de contenção e estabilização do solo.

As geocélulas são estruturas tridimensionais que promovem o confinamento lateral do material de preenchimento (normalmente solos granulares ou agregados naturais), melhorando sua resistência ao cisalhamento e à deformação (AVESANI NETO, 2013; ZHOU; CHEN; ZHU, 2009). Poucos estudos abordam o comportamento mecânico de geocélulas e os trabalhos identificados concentram-se no estudo do desempenho de geocélulas associadas a areias e outros tipos de solos em outras aplicações (BATHURST; KARPURAPU, 1993; ZHOU; CHEN; ZHU, 2009; LEI *et al*., 2024) ou ao estudo do RCD-R (CHEN; HUANG; HUANG, 2010). Avesani Neto (2013) desenvolveu um novo método de previsão da capacidade de carga de solos reforçados com geocélulas, considerando os mecanismos de desenvolvimento da resistência do solo de fundação e da geocélula. Seus resultados indicaram que o modelo se adequou de forma satisfatória para diferentes características da geocélula (geometria e material de constituição), do solo de fundação e de preenchimento (diferentes tipos de areia e argila) e da geometria do carregamento (placas circular, retangular e corrida). Garcia (2021) desenvolveu um equacionamento analítico capaz de modelar o comportamento tensão-deformação das células e seu material de preenchimento, considerando o aumento de confinamento gerado pelas paredes da geocélula, a não linearidade do comportamento do solo, os esforços de compactação do solo, a contribuição da rigidez e da geometria da geocélula e a compatibilidade de deformações, com satisfatória capacidade de previsão dos resultados. Estudos recentes têm demonstrado o potencial dos RCD-R em aplicações geotécnicas devido às suas características de resistência com ângulo de atrito entre 30° e 45° (BORDOLOI; AFOLAYAN; NG, 2022) e estabilidade. De acordo com Santos (2007) e Dutta; Kumar; Singh (2021), que analisaram o RCD-R como preenchedor de muros de solo reforçado com geogrelhas, os materiais reciclados apresentaram resultados satisfatórios e alguns até mesmo superiores, em comparação aos tradicionais, quando avaliadas a capacidade de suporte e deformabilidade. Além dessas propriedades, os ensaios de arrancamento e tração também obtiveram resultados favoráveis para a combinação dos reciclados com os geossintéticos. Apesar dos resultados apresentados por estes autores, a utilização dos RCD-R associados a geossintéticos para aplicações geotécnicas permanece pouco investigada, especialmente no que se refere ao uso de RCD-R como material de preenchimento de geocélulas, configurando uma lacuna relevante na literatura geotécnica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais convencionais e reciclados

Os materiais utilizados foram os resíduos da construção e demolição reciclados (RCD-R), agregados convencionais para fins comparativos, e geocélulas. Os RCD-R foram obtidos em duas usinas de reciclagem: ECO-X, localizada em Guarulhos-SP (Figura 1a), que forneceu brita 1 reciclada, brita 2 reciclada e pedrisco reciclado; e a Usina Verde de Paulínia-SP (Figura 1b), de onde foi coletado solo-brita de coloração alaranjada, com predomínio de fração areia e presença de argila.

Os materiais reciclados apresentaram elevada heterogeneidade, com ocorrência de fragmentos de cerâmica, vidro, concreto e britas naturais. Após a coleta, foram ensacados, identificados e armazenados em paletes no laboratório de solos da universidade.

Os agregados convencionais (brita 1 e pedrisco) são provenientes de rochas basálticas e foram fornecidos pela empresa Quibrita (Figura 1c), localizada em Campinas-SP.

A geocélula empregada foi o modelo MACWEB 1812.8, em polietileno de alta densidade, fornecido pela Maccaferri. As dimensões consideradas na moldagem dos corpos de prova corresponderam à abertura nominal de instalação de 245 mm x 210 mm, conforme especificação do fabricante.



(a) (b) (c)

Figura 1. (a) Pilha de brita 1 e pedrisco da Usina ECO-X; (b) Pilha de solo-brita da Usina Verde; (c) Brita 1 fornecida pela Quibrita.

2.2 Preparação dos corpos de prova

A brita reciclada proveniente da usina Eco-X foi peneirada na malha de 19 mm para separação da brita 1 e remoção da brita 2, considerada excessivamente graúda para o preenchimento das geocélulas. O solo-brita também foi peneirado na mesma abertura de malha para a retirada de partículas grossas, enquanto o pedrisco foi utilizado conforme coletado.

Os corpos de prova foram moldados em geocélulas unitárias, recortadas com folga de aproximadamente 2 cm após a solda. Foram moldados sete corpos de prova compostos por geocélula unitária e material de preenchimento: brita 1 convencional (B1C), brita 1 reciclada (B1R), pedrisco convencional (PC), dois com pedrisco reciclado (PR1 e PR2) e dois com solo-brita na umidade ótima (SB-1: moldado cinco dias antes do ensaio e SB-2: moldado e ensaiado imediatamente). Os CPs de solo-brita foram preparados para avaliar a influência da perda de umidade no comportamento tensão-deformação. Todos os CPs foram moldados sobre chapa metálica de 5 mm. Durante a moldagem foi realizado o controle da massa específica dos materiais por meio de pesagem. O preenchimento da geocélula foi feito manualmente por camadas, aplicando-se agitação para a redução de vazios e garantindo a abertura nominal da geocélula indicada pelo fabricante.

Devido ao formato irregular da célula, a área de carregamento foi determinada no software AutoCAD a partir do traçado, em escala, do polígono correspondente ao topo da geocélula preenchida de acordo com a abertura especificada pelo fabricante.

2.3 Ensaios de umidade higroscópica e compactação do solo-brita

Determinou-se a umidade higroscópica dos materiais granulares (B1C, B1R, PC, PR1 e PR2, SB-1 e SB-2) em triplicatas para os agregados e em quadruplicata para o solo-brita. O ensaio de compactação foi realizado exclusivamente para o solo-brita, conforme a ABNT NBR 7182, na energia Proctor Normal com reuso de material, cujo objetivo foi determinar a umidade ótima e a massa específica seca máxima. O material, previamente peneirado (#19 e #4,8), foi ensaiado em cilindro grande (2085 cm^3), utilizando soquete de 4536 g e altura de queda de 457 mm, em cinco camadas com 12 golpes cada. A curva de compactação foi obtida através do ajuste de duas retas aos pontos situados, respectivamente, no ramo seco e no ramo úmido.

2.4 Ensaio de compressão axial

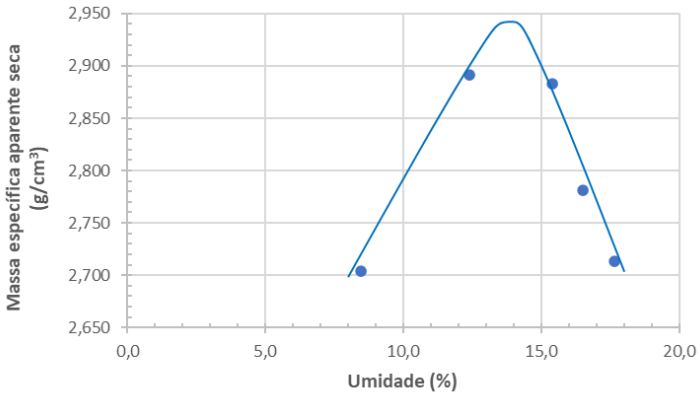
Os ensaios de compressão axial foram realizados em equipamento Instron 1000DX do laboratório da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Os corpos de prova (CP) foram centralizados na base de carregamento e alinhados com o pistão, de modo a evitar concentrações pontuais de tensão. A velocidade de deformação adotada foi de 0,02 mm/s (1,2 mm/min), correspondente a 1%H/min (H: altura inicial do CP), conforme NBR 12770:2022. Cada ensaio foi conduzido até a ruptura ou até aproximadamente 70 mm de deslocamento axial, equivalente a cerca de 58% de deformação específica, valor superior ao limite normativo de 15%.

Com os registros de carga e deslocamento fornecidos pelo equipamento, foram calculadas as curvas tensão-deformação de cada corpo de prova, permitindo a comparação do comportamento mecânico entre os diferentes materiais utilizados como preenchimento das geocélulas. Porém, os resultados foram apresentados considerando deformação máxima de 15%. A rigidez foi determinada como o coeficiente angular de uma regressão linear ajustada à curva carga–deslocamento entre 0 e 15% de deformação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Curva de compactação do solo-brita

A partir do ajuste da curva de compactação aos pontos experimentais, determinou-se a umidade ótima de 14% e massa específica aparente seca máxima de 2,94 g/cm³, conforme Figura 2a. Em um dos pontos da curva de compactação, a medição de umidade foi influenciada pela presença de um fragmento graúdo isolado de RCD-R na amostra coletada, não refletindo adequadamente a umidade correspondente ao material compactado. Assim, o comportamento do conjunto foi interpretado com base na tendência definida pelos demais pontos experimentais. Este fato ressalta a heterogeneidade do material.





(a) (b)

Figura 2. (a) Curva de compactação do solo-brita e (b) Fragmento grosso encontrado na cápsula para medida de umidade.

3.2 Ensaios de compressão axial

A partir dos ensaios de compressão axial e controles realizados, foi elaborada a Tabela 1 que apresenta os valores de umidade higroscópica e um resumo dos parâmetros obtidos para cada CP (controle da geometria e da massa específica) antes e após os ensaios de compressão axial (Figura 3).

De modo geral, após a compressão, observou-se redução da altura (Hcp) e aumento das dimensões laterais, comprimento e largura (Ccp e Lcp), indicando expansão lateral do conjunto geocélula-material. A massa específica dos CPs moldados, calculada a partir da massa do material e do volume padronizado de 5412 cm³, variou entre 0,961 g/cm³ e 1,210 g/cm³, sendo os maiores valores observados para os CPs SB-1 e SB-2, preenchidos com solo-brita.

Tabela 1. Propriedades e características geométricas dos corpos de prova preenchidos

Parâmetros		B1R	B1C	PR1	PR2	PC	SB-1	SB-2
Antes do ensaio	Hcp (cm)	13,38	12,45	12,35	12,45	12,45	12,3	12,3
	Ccp (cm)	24,5	24,2	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
	Lcp (cm)	21	20,5	21	21	20	20	20
Após o ensaio	Hcp (cm)	8,1	7,6	9,55	7,65	5,8	5,8	7,2
	Ccp (cm)	25,5	26	-	24	24	27	25
	Lcp (cm)	26	28,7	25	27,6	29	29	29,4
Umidades Higroscópicas (%)		1,14	0,97	-	2,04	0,15	5,96	5,96
massa (kg)		5,328	5,9	5,36	5,2	5,4	6,55	6,26
Volume padronizado (cm³)		5412	5412	5412	5412	5412	5412	5412
Massa específica (g/cm³)		0,984	1,09	0,99	0,961	0,998	1,210	1,157
Rigidez (kN/mm)		1,14	1,73	-	1,28	1,42	0,82	0,32



(a) (b)

Figura 3. Geocélula única preenchida por brita 1 reciclada (B1R): (a) antes do ensaio de compressão e (b) após o ensaio de compressão.

No primeiro CP com pedrisco reciclado (PR1) ocorreu ruptura da solda da geocélula durante o ensaio (Figura 4), assim, foi moldado um novo CP (PR2), com o objetivo de investigar se o descolamento da solda estava relacionado ao material reciclado ou à geocélula. No novo ensaio, para o PR2 a ruptura da solda não ocorreu. Além disso, o gráfico tensão-deformação dos PR1 e PR2 (Figura 5) demonstra que a ruptura ocorreu para deformações muito baixas, o que representa um comportamento distinto do esperado para esse material, sugerindo que a ruptura foi consequência apenas de problemas na solda.

Considerando o critério de ruptura correspondente a 15% da altura do corpo de prova, os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial em geocélulas preenchidas com diferentes materiais indicaram que as tensões suportadas foram aproximadamente de 650 kN/m² para B1C, 550 kN/m² para PC, 520 kN/m² para PR2, 430 kN/m² para B1R, 335 kN/m² para SB-1 e 130 kN/m² para SB-2 (Figura 6). De forma geral, os resultados indicaram que os materiais naturais suportam maiores tensões quando comparados aos reciclados, considerando deformações até 15%, ou seja, o conjunto geocélula-material convencional comporta-se de forma mais rígida quando comparado com os materiais reciclados. O cálculo da rigidez corroborou esta

observação. Para B1C, PC, PR2, B1R, SB-1 e SB-2 os valores de rigidez foram de 1,73 kN/mm, 1,42 kN/mm, 1,28 kN/mm, 1,14 kN/mm, 0,82 kN/mm e 0,32 kN/mm, respectivamente



(a) (b)

Figura 4. (a) Corpo de prova na Instron durante ensaio; (b) Ruptura da solda da geocélula preenchida com pedrisco reciclado (PR1).

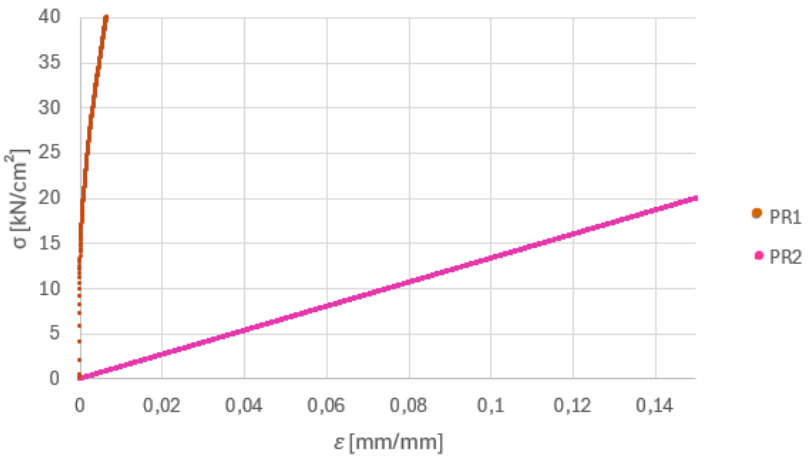


Figura 5. Gráfico tensão x deformação dos corpos de prova PR1 e PR2.

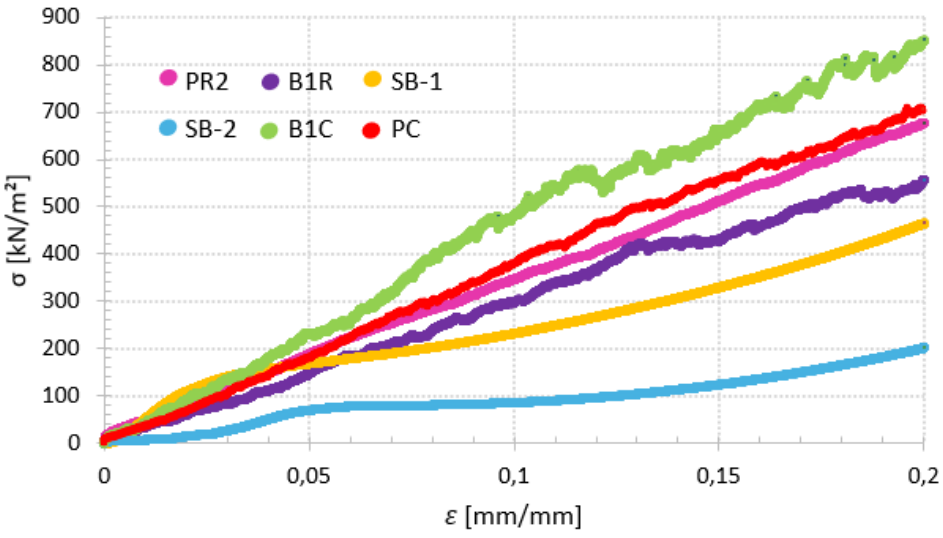


Figura 6. Gráfico de tensão x deformação de todos os corpos de prova ensaiados.

Para os agregados convencionais (B1C e PC), observa-se que os resultados estão de acordo com o esperado, ou seja, quanto maior a granulometria do material, maior o atrito entre partículas e, consequentemente, maior resistência é atribuída ao conjunto geocélula-material. Porém, a mesma correlação não ocorreu entre os agregados reciclados, nos quais se observa que a resistência do pedrisco reciclado (PR2) é maior que a da brita reciclada (B1R), resultado contrário ao esperado considerando a granulometria dos materiais. A análise das curvas granulométricas de ambos os materiais obtidas antes e após o ensaio de compressão poderia explicar tal comportamento. Isso porque um pedrisco bem graduado poderia ter maior resistência em função do seu maior empacotamento. Assim, sugere-se esta análise para futuras pesquisas. Outro fator que poderia explicar tal comportamento é a heterogeneidade dos materiais reciclados, assim, há a possibilidade da brita reciclada ter sido composta por materiais menos resistentes que o pedrisco reciclado.

Com relação aos CP de solo-brita, o SB-1 (ensaiado 5 dias após a moldagem) suportou maiores valores de tensão quando comparado com o SB-2 (moldado e ensaiado imediatamente). Esta diferença de comportamento pode estar relacionada à heterogeneidade do material e consequente variação granulométrica, porém, este controle não foi realizado e é sugerido para pesquisas futuras. O SB-1 foi moldado com umidade (w) de 15,70% e massa específica (ρ) de 1,210 g/cm^3, porém, no momento do ensaio, o CP apresentou w= 10,35%. Já o SB-2 foi moldado e ensaiado com w=12,47% e ρ=1,157 g/cm^3. Apesar da diferença de ρ entre os CPs, ela é pequena para explicar a diferença de comportamento. Provavelmente, este comportamento está associado à perda de umidade sofrida pelo SB-1 durante o armazenamento do CP e, consequentemente, com possível influência da variação da pressão neutra durante o ensaio de compressão. O tempo de armazenamento (cura de 5 dias) também pode ter influenciado o comportamento do solo-brita, considerando que em sua composição existem materiais cimentícios que podem ter sido ativados com o umedecimento, formando uma estrutura resistente.

4 CONCLUSÕES

Os materiais convencionais (brita 1 e pedrisco) foram os que conferiram maior resistência e rigidez ao conjunto geocélula-material preenchedor. Os piores desempenhos foram obtidos pelos CPs de solo-brita.

Os resultados deste estudo indicam que a granulometria e a resistência do material preenchedor tendem a influenciar o comportamento mecânico das geocélulas, embora a variabilidade observada entre os materiais avaliados indique que outros fatores também podem ser relevantes. De forma geral, observou-se tendência de aumento da rigidez com o aumento da resistência do material e da granulometria, exceto para o pedrisco reciclado, que apresentou resistência maior que a da brita reciclada, o que sugere a influência adicional de fatores como a heterogeneidade dos RCDs e a gradação granulométrica dos corpos de prova.

A diferença de comportamento entre os corpos de prova de solo-brita pode estar associada, principalmente, à variação de umidade observada entre os ensaios, bem como à possível presença de materiais cimentícios que, após o umedecimento e o período de cura, podem ter contribuído para o aumento da resistência do SB-1.

Os resultados indicaram que o comportamento do conjunto geocélula-agregado é fortemente influenciado pelo comportamento do material preenchedor.

Conclui-se que, apesar dos materiais convencionais atingirem valores maiores de resistência e rigidez, os materiais reciclados também demonstraram bom desempenho, reforçando o potencial de aplicação de materiais reciclados a depender do nível de tensões atuantes na obra geotécnica.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à empresa Maccaferri e, em especial, à Eng. Júlia Fernandes Approbato, pelo apoio e pelo fornecimento das geocélulas utilizadas nesta pesquisa; às usinas ECO-X, Usina Verde e Quibrita, pela disponibilização e doação dos materiais empregados nos ensaios experimentais; e ao Prof. Dr. Pablo Krahl, pelas valiosas contribuições na qualificação e na defesa do trabalho, bem como pelas sugestões para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2020). Pesquisa setorial ABRECON 2020. São Paulo: Ministério Público de São Paulo.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2022). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021. São Paulo: ABRELPE. Disponível em: https://abrelpe.org.br/publicacoes/panorama/. Acesso em: 21 abr. 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025). NBR 7182. Solo — Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.

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 (2016). NBR 6458. Solo — Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 12770. Solo — Ensaio de compressão simples. Rio de Janeiro.

Avesani Neto, J. O. (2013). Desenvolvimento de uma metodologia de cálculo e simulações numéricas aplicadas na melhoria da capacidade de carga de solos reforçados com geocélula. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Bathurst, R. J.; Karpurapu, R. (1993). Large-scale triaxial compression testing of geocell-reinforced granular soils. Journal of Geotechnical Engineering, 119 (3), p. 573–590.

Bordoloi, S.; Afolayan, O. D.; Ng, C. W. W. (2022). Feasibility of construction demolition waste for unexplored geotechnical and geo-environmental applications: a review. Construction and Building Materials, 356, 129230.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

Brasil (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

Chen, Z. P.; Huang, K. W.; Huang, J. Y. (2010). Experimental research on the flexural strength of recycled coarse aggregate concrete. In: International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Wuhan, China, p. 1041–1043. IEEE.

Dutta, S. C.; Kumar, S.; Singh, R. (2020). Geogrid mechanical damage caused by recycled construction and demolition waste (RCDW): Influence of grain size distribution. Soils and Rocks, 43 (2), p. 231–246.

Garcia, R. S. (2021). Modelagem analítica de solos reforçados com geocélulas: aplicação na obtenção do fator de melhora do módulo (MIF) e do comportamento tensão/deformação da célula. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia Geotécnica), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Lei, H.; Ma, T.; Feng, S.; Wang, L. (2024). Confinement effect of geocell on the mechanical characteristics of reinforced sand subgrade. Transportation Geotechnics, 48, 101336.

Santos, E. C. G. dos (2011). Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos.

Zhou, H.; Chen, W.; Zhu, H. (2009). Experimental study on geocell-reinforced sand under cyclic loading. Geotextiles and Geomembranes, 27 (3), p. 201–208.