

# CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE UMA AREIA RECICLADA PARA USO EM ESTRUTURAS DE SOLO REFORÇADO (ESR) COM GEOSSINTÉTICOS

## Geotechnical characterization of a recycled sand for use in geosynthetic reinforced soil structures (GRSS)

Priscila Oliveira<sup>1</sup>, Eder Carlos Guedes dos Santos<sup>2</sup>



### PALAVRAS CHAVE:

Propriedades geotécnicas;  
Resíduos de Construção e Demolição;  
Reciclagem;  
Variabilidade;  
Ensaio de Laboratório;

### KEYWORDS:

Geotechnical properties;  
Construction and demolition waste;  
Recycling;  
Variability;  
Laboratory Testing.

**RESUMO:** A indústria da construção civil (ICC) é um importante setor da economia, pois gera muitos empregos de forma direta e indireta. Por outro lado, ela demanda uma intensa extração de recursos naturais e produz grandes volumes de resíduos de construção e demolição (RCD). Uma destinação ambientalmente correta para esses resíduos é a sua reciclagem. Os resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) têm mostrado ampla aplicabilidade em obras geotécnicas. Nesse contexto, este estudo apresenta a caracterização geotécnica (propriedades físicas e mecânicas) de um tipo de RCD-R nomeado “areia marrom”. As amostras de RCD-R foram coletadas durante um longo período para verificar a variabilidade do material. Foram utilizados os métodos normalmente empregados para a caracterização geotécnica de solos. Para a investigação das propriedades mecânicas, foi realizado o ensaio de cisalhamento direto. A distribuição granulométrica revelou que o RCD-R apresentou uma baixa variabilidade e que as curvas encontram-se muito próximas aos intervalos granulométricos recomendados por normativas internacionais para material de preenchimento de estruturas de solo reforçado. Nos ensaios de cisalhamento foi verificado que o material apresentou excelentes valores de ângulo de atrito e valores consideráveis de intercepto de coesão. Conclui-se que o RCD-R demonstra ser um material com excelentes propriedades geotécnicas e como um material atrativo a ser empregado também por uma questão ambiental.

**ABSTRACT:** The construction industry (CI) is an important sector of the economy, once it generates many jobs directly and indirectly. However, the CI causes intense extraction of raw natural and produces large volumes of construction and demolition waste (CDW). Recycling this waste appears as an environmentally friendly destination. Recycled construction and demolition waste (RCDW) has shown wide applicability in geotechnical works. In this scenario, this study presents the geotechnical characterization (physical and mechanical properties) of a RCDW (called “brown sand”). The RCDW samples were collected during a long period to verify the properties’ variability. The characterization of the material used the methods usually performed in geotechnical characterization of soils. The investigation of the RCDW mechanical properties was carried out by direct shear tests. Analysis revealed that the RCDW presented particle size distribution curves with low variability and very close to the limits stated by some International Standards for reinforced soil backfill material. Direct shear tests showed the material has excellent values of friction angle and significant values of cohesion. It is concluded that the RCDW revealed to be a material with excellent geotechnical properties, which makes it an interesting material to be used in geotechnical works and very attractive due to the environmental aspects.

\* Contato com os autores:

<sup>1</sup>e-mail: [priscilafso60@hotmail.com](mailto:priscilafso60@hotmail.com) (P. F. S. Oliveira)

Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil.

<sup>2</sup>e-mail: [edersantos@ufg.br](mailto:edersantos@ufg.br) (E. C. G. dos Santos)

Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil.

Publicado em 26 de junho de 2023

## 1. INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil (ICC) é um importante setor para a economia mundial, empregando milhares de pessoas em diversos tipos de atividades. No Brasil, cerca de 8% das pessoas empregadas trabalham na ICC (CBIC, 2021). Por outro lado, tal indústria consome 40% do total de matérias-primas extraídas no planeta (Di Maria, Eyckmans e Van Acker, 2018) e gera fluxos significativos de gases de efeito estufa e dióxido de carbono na atmosfera (Dobrovolskienė et al., 2017). Um outro aspecto negativo ligado à ICC consiste na geração de grandes volumes resíduos - os chamados resíduos da construção e demolição (RCD).

Segundo a ABRELPE (2021), foram coletadas (em 2020) pelos municípios brasileiros cerca de 47 milhões de toneladas de RCD, com isso, a quantidade coletada foi de 221,2 kg por habitante/ano. De acordo com Miranda (2020), isso representa de 54% a 70% dos resíduos sólidos urbanos, sendo que, aproximadamente 50% dos RCD são resíduos classe A, que são aqueles reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Além disso, a fração inerte não perigosa é a mais abundante (De Melo, Golçalves e Martins, 2011) o que aumenta o seu potencial para utilização em diferentes tipos de atividades na ICC.

Os RCD-R são reconhecidamente heterogêneos, pois são constituídos por diferentes tipos de materiais que fazem parte do edifício ou infraestrutura em diferentes atividades e técnicas do setor de construção (Di Maria, Eyckmans e Van Acker, 2018; Rosado et al., 2019). No entanto, apesar da heterogeneidade dos RCD, observa-se que os agregados reciclados são constituídos principalmente por materiais cerâmicos, blocos ou tijolos de alvenaria, telhas, argamassa, concreto e solos de terraplenagem (Pereira, 2018).

Os RCD-R têm mostrado ampla aplicabilidade em diversos tipos de obras geotécnicas, como por exemplo: i) base e sub-base de pavimentação asfáltica (Cassa, Carneiro e Brum, 2001; Almeida et al., 2018); ii) drenagem superficial e profunda (Paschoalin Filho et al., 2013); e iii) em estrutura de solos reforçados com geossintéticos (Santos, Palmeira e Bathurst, 2013, 2014).

Nesse contexto, gerenciar os RCD de maneira adequada para viabilizar a sua reciclagem apresenta-se como uma importante estratégia para reduzir a utilização de matérias-primas e mitigar os impactos adversos ao meio ambiente. Diante disso, percebe-se a necessidade compreender melhor as suas características físicas e mecânicas e avaliar a sua aplicabilidade para obras específicas, como, por exemplo, estruturas de solo reforçado com geossintéticos (ESRG), de forma a estimular o uso de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R).

## 2. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo realizar a caracterização geotécnica (propriedades físicas e mecânicas) de um RCD-R produzido numa usina de beneficiamento. De modo a verificar a sua aplicabilidade em estrutura de solo reforçado (ESR) com geossintéticos, são avaliadas as suas características em relação às determinações de normativas internacionais.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

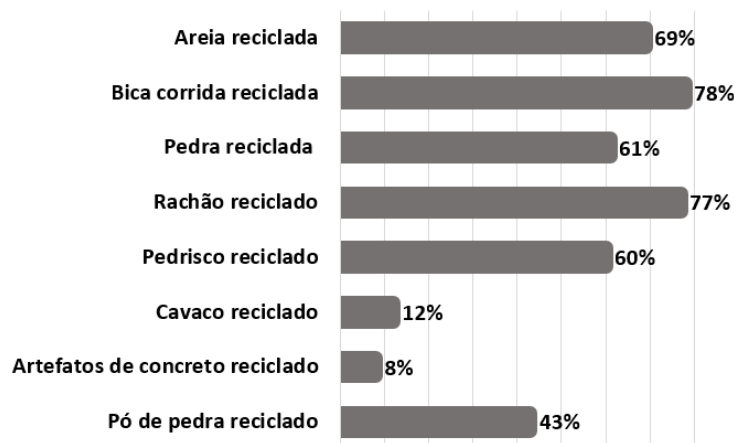
### 3.1 RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO REICLADO (RCD-R) – CLASSE A

Estima-se que a maior parcela de RCD classe A recebido atualmente pela usina de reciclagem localizada em Aparecida de Goiânia-GO passa por processo de triagem prévia, pois não possuem impurezas, o que tem demonstrado uma maior preocupação dos próprios geradores com o destino do resíduo (Fleury, Siqueira Neto e Santos, 2017). Assim, a usina de reciclagem tem recebido cada vez menos

materiais contaminados. Isso permite que a usina dispenda menos tempo e técnicas para a remoção de impurezas que contaminam esses materiais recebidos.

Quanto à composição, a maioria das usinas brasileiras (70%) alegam receber material predominantemente misto, composto das frações cinza e vermelha misturadas (concreto, cerâmica, argamassas e outros) (ABRECON, 2018). Assim, ressalta-se que no mercado é possível encontrar agregado reciclado majoritariamente composto por elementos pétreos de concreto e argamassa, porém dificilmente são encontrados agregados reciclados predominantemente compostos por elementos cerâmicos, pois os elementos cerâmicos sempre estão integrados ao concreto e argamassa. Na reciclagem do RCD são gerados materiais com diferentes granulometrias, com isso, a aplicação do RCD-R na ICC tem se mostrado bastante abrangente (Santos, 2007; Silvestre, 2019; Domiciano, Santos e Lins da Silva, 2020).

De acordo com dados da Pesquisa Setorial 2017/2018 da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (ABRECON), a maior parte das usinas brasileiras produzem de 4 a 6 produtos, sendo que a areia reciclada é um dos principais produtos reciclados produzidos pelas usinas brasileiras de reciclagem (Figura 1). Destaca-se por consumir grande volume de resíduos, permitir material cerâmico na sua composição, material economicamente competitivo em relação a outros que têm a mesma finalidade e por ser de fácil produção e controle de qualidade. Ao contrário do que existe com a bica corrida, a areia reciclada não possui uma norma brasileira regulamentadora para apoio normativo. Assim, realizar ensaios técnicos nessas areias torna-se tão importante, pois é necessário compreender melhor o comportamento do material e analisar suas possíveis aplicações.



**FIGURA 1:** Principais agregados reciclados produzidos nas usinas de reciclagem brasileiras.  
**FONTE:** Modifica de ABRECON (2018).

Um dos principais motivos que levam as usinas de reciclagem a realizarem ensaios técnicos nos seus produtos é a preocupação com a qualidade e exigências do consumidor. Observa-se que a realização de controle de qualidade nos materiais produzidos não é uma rotina na maior parte das usinas brasileiras (ABRECON, 2018). Assim, um gargalo tem sido criando em relação à variação da qualidade dos materiais reciclados produzidos pelas usinas de reciclagem. Nesse contexto, o que tem sido aplicado é um padrão de aplicação em baixa qualidade, rotulada como *downcycling*, ou seja, a prática de usar agregado reciclado para uma aplicação de menor valor que o objetivo original do material (Allwood, 2014).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DO RCD-R

As propriedades físicas dos agregados reciclados são dependentes principalmente da sua composição (Ossa, García e Botero, 2016). Ou seja, as propriedades que pertencem ao RCD gerado determinarão as propriedades do material após a sua reciclagem (Silva, Souza e Silva, 2010). Assim,

conforme observado por Fleury (2018), quando um RCD-R apresenta uma maior quantidade parcela de derivados de cimento Portland, suas características são mais semelhantes aos agregados de concreto reciclado, enquanto os com maior parcela de materiais cerâmicos, assemelham-se aos agregados de alvenaria reciclados.

A granulometria dos agregados reciclados é influenciada pelas técnicas adotadas, por exemplo, os agregados tendem a ser menos arredondados e menos afiados quando se utiliza um britador de mandíbula; o uso de britador de impacto promove uma melhor distribuição granulométrica e baixa quantidade de lascas. Além disso, o número de processos realizados é um fator que influencia na dimensão dos grãos do RCD-R (Miranda, 2020).

Em relação ao comportamento mecânico dos agregados reciclados, foi verificado que, caso o teor de cimento Portland na sua composição seja mais elevado, esse comportamento é beneficiado. Entretanto, se ocorrer a incorporação de materiais cerâmicos, observa-se uma diminuição desse comportamento. Essas constatações são justificadas pela porosidade das partículas dos RCD-R, pois maior quantidade de poros confere menor densidade, resistência à fragmentação e capacidade de carga (Silva, Brito e Dhir, 2014). Porém, uma baixa quantidade de poros implicaria na diminuição da permeabilidade (Fleury, 2018).

Segundo Silva, Brito e Dhir (2014), uma densidade seca máxima maior é condicionada por uma maior quantidade de derivados de cimento Portland nas amostras, enquanto um elevado teor de umidade ótima é verificado quando há uma maior quantidade de material cerâmico. Santos, Vilar e Assis (2009), constataram, após análises estatísticas de parâmetros geotécnicos de RCD-R, que existe uma baixa variabilidade das amostras produzidas e elevados valores de confiança que justificam o seu emprego em obras geotécnicas.

#### 4. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi ensaiado um material produzido por uma usina de reciclagem de RCD, localizada em Aparecida de Goiânia-GO, denominado 'areia reciclada marrom' (ARM). Segundo a usina, esse material é obtido por meio do processo de britagem de blocos cerâmicos e de concreto (agregado misto).

Com o intuito de verificar a existência de variabilidade do material reciclado produzido pela usina de reciclagem, foram realizadas coletas em diferentes datas (Tabela 1), obtendo-se, assim, 7 (sete) amostras do RCD-R.

**TABELA 1:** Plano de coleta de ARM.

<b>Amostras</b>	<b>Data da Coleta</b>
ARM-01	26/10/2018
ARM-02	09/11/2018
ARM-03	23/11/2018
ARM-04	30/11/2018
ARM-05	07/12/2018
ARM-06	06/02/2019
ARM-07	20/03/2019

**FONTE:** Autoria Própria.

Para a determinação das características físicas e mecânicas dos materiais investigados, foram realizados os ensaios normalmente empregados em laboratórios de solos, seguindo as recomendações das

normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – conforme apresentado na Tabela 2 – e a norma do ensaio de cisalhamento direto (ASTM D3080/D3080M-11).

**TABELA 2:** Ensaíos e normas da ABNT.

<b>Ensaio</b>	<b>Norma</b>
Massa específica	NBR 6508 (ABNT, 2016a)
Granulometria	NBR 7181 (ABNT, 2016c)
Análise das curvas granulométricas	NBR 6502 (ABNT, 1995)
Limite de Liquidez	NBR 6459 (ABNT, 2017)
Limite de plasticidade	NBR 7180 (ABNT, 2016b)
Compactação	NBR 7182 (ABNT, 2016d)

**FONTE:** Autoria Própria.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS

Os resultados dos pesos específicos dos grãos passantes na peneira de abertura 4,8 mm revelaram que a ARM apresentou baixa variabilidade desse parâmetro (Tabela 3). O valor médio do peso específico das amostras de ARM ensaiadas apresentaram valores semelhantes aos encontrados para solos da região: i) 27,21 kN/m<sup>3</sup> (Araujo, 2010) e ii) 27,40 kN/m<sup>3</sup> (Mascarenha et al., 2018).

**TABELA 3:** Peso específico dos grãos de areia reciclada (passante de peneira 4,8 mm).

<b>Amostras</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>
ARM-01	27,35
ARM-02	27,40
ARM-03	27,26
ARM-04	27,40
ARM-05	26,81
ARM-06	27,41
ARM-07	27,42
<b>Valor Médio</b>	<b>27,29</b>
<b>CV (%)</b>	<b>Menor que 1</b>

Onde:  $\gamma$  = peso específico dos grãos; CV = coeficiente de variação

**FONTE:** Autoria Própria.

Também apresentaram valores próximos aos provenientes dos agregados reciclados oriundos da cidade de Goiânia-GO obtidos em estudos anteriores e aos de agregados de outras cidades que foram utilizados por outros pesquisadores (Tabela 4).

**TABELA 4:** Peso específico dos grãos de RCD-R.

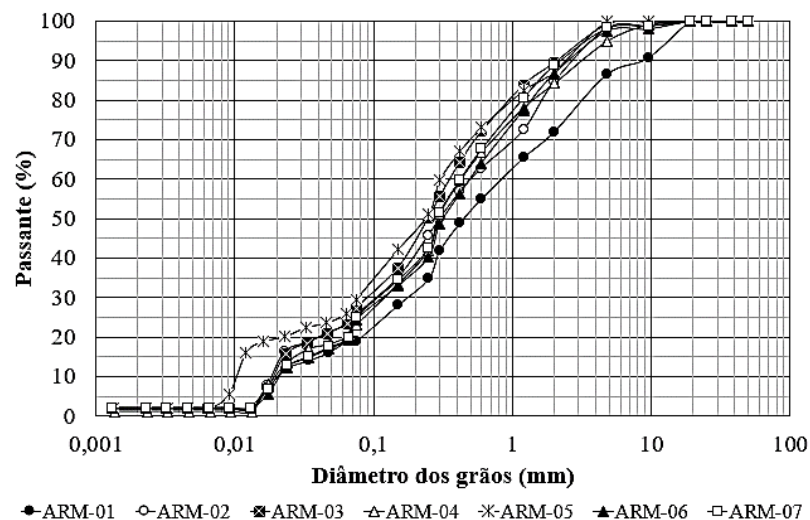
<b>Produzidos em Goiânia-GO</b>	
Dias (2014)	27,81
Fleury et al. (2019)	26,76 – 27, 18
Silvestre (2019)	26,87
Britto (2020)	27,04 – 27, 13
Domiciano, Santos, Lins da Silva, (2020)	21,66 – 26,84
<b>Produzidos em outras cidades brasileiras</b>	
Santos (2007) <sup>1</sup>	28,19
Santos (2011) <sup>2</sup>	27,30
Araújo Neto (2017) <sup>3</sup>	24,65
Matos (2020) <sup>4</sup>	25,92 – 26,28

Notas: (1) São Carlos-SP, (2) Brasília-DF; (3) Camaragibe-PE; (4) Porto Alegre-RS.

**FONTE:** Autoria Própria.

## 5.2 GRANULOMETRIA

A análise da distribuição granulométrica das diferentes amostras de ARM demonstrou uma baixa variabilidade do material (Figura 2). Isso pode ser uma indicação de um padrão de beneficiamento realizado pela usina de reciclagem. Outros estudos também verificaram pequenas variabilidades nas curvas granulométricas dos agregados reciclados (Santos, 2011; Couto e Santos, 2016; Silvestre, 2019; e Britto, 2020). Os resultados demonstraram que a ARM é composta predominantemente por areia (63,90%), sendo seguida por silte (18,99%) e argila (1,82%) e com uma pequena parcela de pedregulho (15,25%). De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), o material pode ser classificado como uma areia bem graduada (SW).

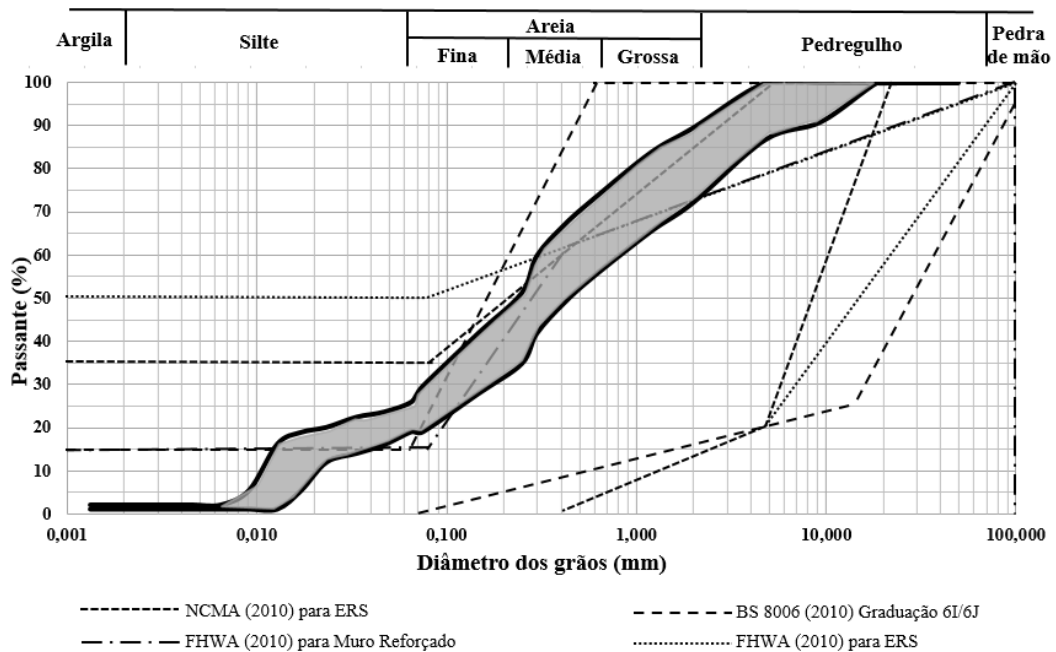


**FIGURA 2:** Curvas granulométricas das amostras de ARM.

**FONTE:** Autoria própria.

A análise da adequação granulométrica da ARM para uso em ESR revelou que o limite inferior da faixa granulométrica – definida com todas as curvas – mostrou-se bastante próximo às especificações das normas internacionais BS 8006 (2010), FHWA (2010) e NCMA (2010). Considerando as recomendações de

todas as normativas, observou-se que seria necessário fazer algumas correções no material para que ele se encaixasse dentro das faixas estabelecidas, conforme pode ser verificado na Figura 3. Os resultados encontrados para as amostras da areia reciclada estão de acordo com as afirmações de alguns autores em relação à possibilidade de utilização de materiais reciclados em ESR como material de preenchimento (Santos, 2011; Santos, Palmeira e Bathurst, 2014; Vieira e Pereira, 2016).

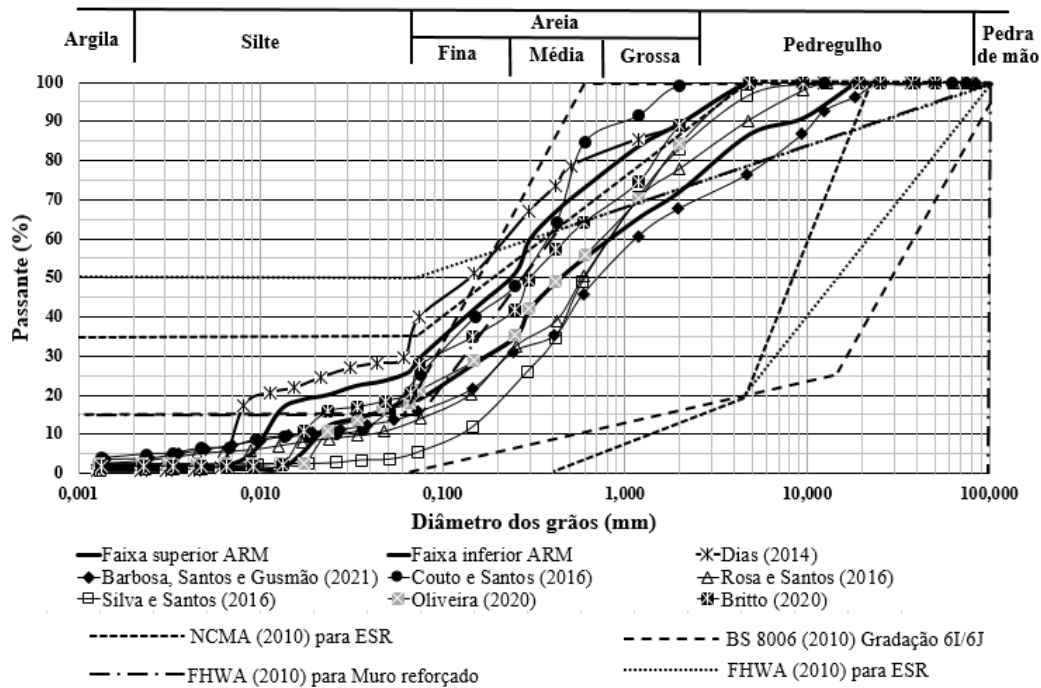


**FIGURA 3:** Faixa granulométrica da ARM versus especificações internacionais.

**FONTE:** Autoria própria.

A Figura 4 apresenta algumas das curvas granulométricas de areias que foram produzidas na mesma usina de beneficiamento da ARM (Dias, 2014; Britto, 2020; Oliveira, 2020) e outras que foram ensaiadas por outros pesquisadores da Universidade de Pernambuco (UPE) (Couto e Santos, 2016; Silva e Santos, 2016; Rosa e Santos, 2016; Barbosa, Santos e Gusmão, 2021). Observou-se que praticamente todas as areias recicladas analisadas atenderam as faixas inferiores das normativas internacionais. Entretanto, as areias recicladas que apresentaram mais de 15% de material passante na peneira 0,075 mm extrapolaram alguns dos limites superiores das especificações internacionais. Essas areias são as mesmas que apresentam um elevado teor de finos em sua constituição, sendo que isso pode ser gerado devido às técnicas que são utilizadas para o seu beneficiamento, não sendo de fato partículas finas de solo, mas partículas finas de materiais de derivados de cimento Portland ou cerâmico.

Verificou-se que as curvas determinadas para as areias recicladas pelos diferentes pesquisadores encontram-se próximas, demonstrando uma baixa variabilidade entre as amostras analisadas. Isso demonstrou um certo padrão de produção desse material pelas diferentes usinas de reciclagem. Observou-se que algumas amostras passaram integralmente pela peneira de 4,80 mm, e que aquelas que possuem material superior a essa peneira ainda assim possuem uma baixa quantidade de pedregulho em sua composição. Além disso, todas as amostras de areias recicladas apresentaram curvas bem graduadas.



**FIGURA 4:** Faixa granulométrica de areias recicladas versus especificações internacionais.

**FONTE:** Autoria própria.

### 5.3 LIMITES DE ATTERBERG

A realização dos ensaios de limites de consistência revelou a dificuldade para determinar o limite de liquidez ( $LL$ ) para todas as amostras de ARM. Quanto ao limite de plasticidade ( $LP$ ), não foi possível a moldagem do cilindro de 3 mm de diâmetro. Diante disso, todas as amostras de ARM foram classificadas como ‘não plásticas’ (NP).

Outros trabalhos investigaram materiais reciclados e verificaram que as amostras foram também classificadas como NP e que isso apresenta-se como um aspecto positivo para a aplicação desses materiais em ESR (Santos, 2011; Fleury, 2018; Silvestre, 2019; e Britto, 2020), pois as normas BS 8006 (2010) e FHWA (2010) recomendam a utilização de materiais que não apresentem parcela de resistência coesiva.

### 5.4 COMPACTAÇÃO

Os ensaios de compactação revelaram um valor médio de peso específico seco máximo ( $\gamma_{d\text{ máx}}$ ) de  $16,21\text{ kN/m}^3$  e um valor médio de umidade ótima ( $w_{ot}$ ) de 20,66%. Os valores médios mostraram-se semelhantes aos encontrados por Oliveira e Santos (2019) na caracterização de uma areia cinza reciclada (predomínio de concreto na composição) produzida na mesma usina de beneficiamento. Observa-se que o valor elevado de  $w_{ot}$  nas amostras em análise deve-se ao fato delas apresentarem maiores teores de material cerâmico/solo em sua composição. Essa hipótese foi verificada nos trabalhos de Fleury (2018) e Domiciano, Santos e Lins da Silva (2020). A Figura 5 apresenta as curvas de compactação das amostras de ARM. A Tabela 5 apresenta de forma detalhada os resultados dos ensaios de compactação.



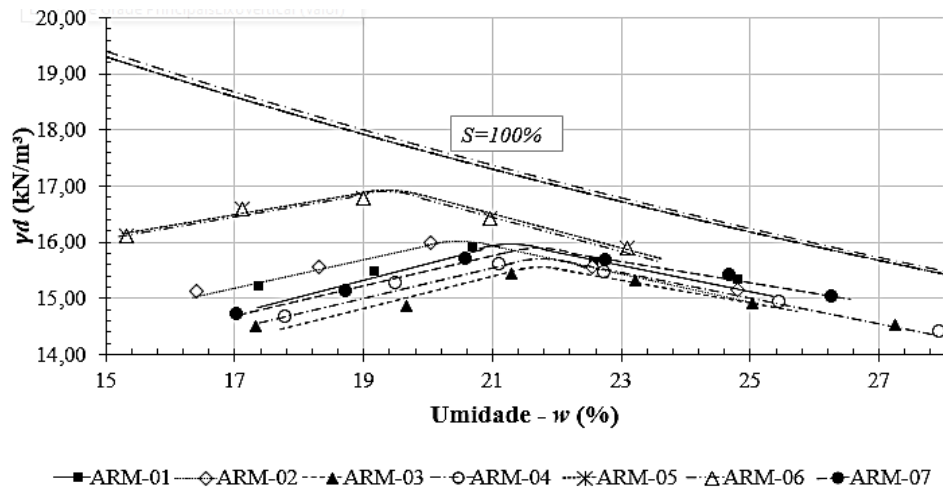


FIGURA 5: Curvas de compactação das amostras de ARM.

FONTE: Autoria própria.

TABELA 5: Resultado do ensaio de compactação da ARM.

Amostras	$\gamma_d \text{ máx (kN/m}^3\text{)}$	$w_{ot} \text{ (%)}$
ARM-01	15,93	21,00
ARM-02	16,03	19,80
ARM-03	15,48	22,05
ARM-04	16,64	21,60
ARM-05	16,80	19,20
ARM-06	16,80	19,20
ARM-07	15,82	21,80
<b>Valor Médio</b>	<b>16,21</b>	<b>20,66</b>
<b>CV (%)</b>	<b>3,26</b>	<b>6,00</b>

Onde:  $\gamma_d \text{ máx}$  = peso específico seco máximo;  $w_{ot}$  = umidade ótima; CV = coeficiente de variação

FONTE: Autoria Própria.

## 5.5 CISALHAMENTO DIRETO

Ensaio de cisalhamento foram realizados com as amostras de ARM para obter os parâmetros de resistência: i) ângulo de atrito ( $\phi$ ) e ii) intercepto de coesão ( $c$ ). Foram encontrados os valores médios de  $\phi = 43^\circ$  e  $c = 23$  kPa. Os resultados de  $\phi$  mostraram-se elevados e próximos aos encontrados por outros autores que usaram areias recicladas em suas pesquisas (Vieira e Pereira, 2016; Britto, 2020). O material apresentou um elevado valor de  $c$  devido à presença de solo na sua constituição. A Figura 6 apresenta a envoltória de resistência de uma das amostras de ARM. A Tabela 6 apresenta detalhadamente os resultados dos ensaios de cisalhamento direto.

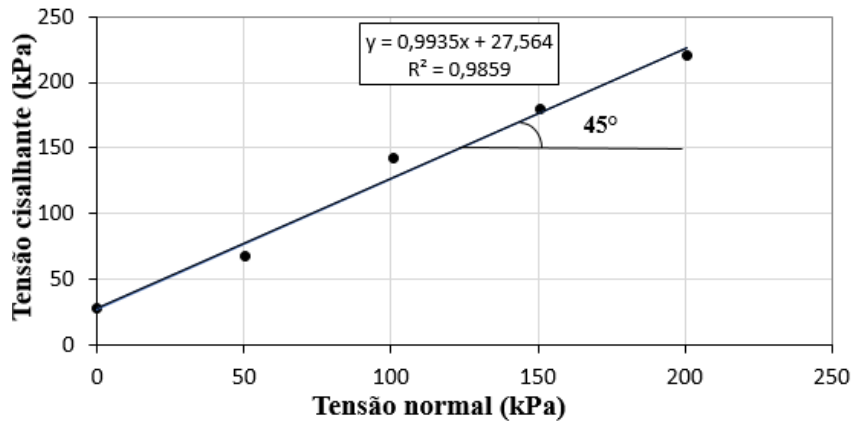


FIGURA 6: Envoltória de cisalhamento da amostra ARM-01.

FONTE: Autoria própria.

TABELA 6: Ângulos de atrito e intercepto de coesão das amostras de ARM.

Amostras	$\phi$ (°)	$c$ (kPa)
ARM-01	45	26
ARM-02	40	20
ARM-03	41	24
ARM-04	45	20
ARM-05	43	26
ARM-06	44	23
ARM-07	43	24
<b>Valor Médio</b>	<b>43</b>	<b>23</b>
<b>CV (%)</b>	<b>3,97</b>	<b>10,73</b>

Onde:  $\phi$  = ângulo de atrito;  $c$  = intercepto de coesão; CV = coeficiente de variação.

FONTE: Autoria Própria.

A Tabela 7 apresenta detalhadamente os resultados de ensaios de cisalhamento direto obtidos por outros pesquisadores que também investigaram areias recicladas. Verificou-se um elevado valor de  $\phi$  para as diferentes amostras analisadas, entretanto observou-se um alta variabilidade em relação aos valores de  $c$ , o que indica a presença de diferentes materiais na constituição das amostras analisadas. Vale ressaltar que os resultados encontrados para as areias demonstraram que os materiais apresentam um bom comportamento mecânico, semelhante ao de materiais naturais, o que viabilizaria a sua utilização em diversos tipos de obras geotécnicas.

TABELA 7: Ângulos de atrito e intercepto de coesão de areias recicladas.

Amostras	$\phi$ (°)	$c$ (kPa)
Vieira, Pereira e Lopes, (2014)	44,1	17,3
Araújo Neto (2017)	39,9	9,0
Lafayette et al. (2018)	41,7	4,1
Silva et al. (2019)	42,0	4,3
Vieira et al. (2020)	37,6	16,3
Vieira e Pereira (2022)	40,3	18,0

FONTE: Autoria Própria.

## 6. CONCLUSÕES

Por meio dos resultados dos ensaios de caracterização realizados, é possível concluir que a ARM apresentou uma baixa variabilidade das curvas granulométrica, e que isso é um aspecto favorável, dado que se trata de um material produzido a partir de materiais de diversas etapas de uma obra. O comportamento não plástico da ARM apresenta-se como um ponto positivo quando se visa a utilização dessas em ESR.

A análise da faixa granulométrica da ARM, em relação aos limites de normas internacionais para materiais de preenchimento de ESR, demonstrou que há a necessidade de realizar correções na parcela de materiais mais finos. Além disso, ressalta-se que os resultados encontrados para ARM revelaram que o material apresenta um bom comportamento mecânico, semelhante ao de materiais naturais, o que viabilizaria a sua utilização em diversos tipos de obras geotécnicas.

Um ponto positivo para o uso da ARM em obras geotécnicas foram os baixos valores de coeficientes de variação (CV) observados em todos os ensaios de caracterização física. Assim, a ARM apresenta-se como um material promissor a ser utilizado nessas obras, uma vez que, além das suas propriedades técnicas, é ambientalmente correto.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora do trabalho – período de execução dos ensaios e análises iniciais. Os autores também agradecem à FAPEG pela bolsa de doutorado da primeira autora (Processo PCB2021031000230) em vigência atualmente – período de conclusão das análises apresentadas. Agradecimentos também são dedicados ao Laboratório de Geotecnia (LabGEO) da Universidade Federal de Goiás (UFG), pelo suporte dado para a realização dos ensaios; ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil (PPG-GECON); e à empresa Renove Gestão e Solução em Resíduos Ltda (RNV Resíduos), por toda a parceria e os apoios dados para a realização do estudo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLWOOD, J.M. **Squaring the circular economy: the role of recycling within a hierarchy of material management strategies**. Elsevier, Boston, 2014, 445-477 p.

ALMEIDA, J.; ROSA, F. D.; PANDOLFO, A.; BERTICELLI, R.; BRUM, E. M.; MARTINS, M. S. **Estudo de viabilidade econômica do uso do agregado de RCD em pavimentação de vias urbanas**. Revista de Engenharia Civil, Vol. 56, 2018, 16-25 p.

ARAÚJO NETO, O. G. **Ensaio de arrancamento de geogrelha com equipamento de pequenas dimensões aplicado a compostos de resíduos de construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco. Recife, PE, 2017, 97 p.

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

\_\_\_\_\_. NBR 6502: **Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. NBR 6508: **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2016a.

\_\_\_\_\_. NBR 7180: **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016b.

\_\_\_\_\_. NBR 7181: **Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016c.

- \_\_\_\_\_. NBR 7182: **Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. **Pesquisa Setorial 2017/2018**. São Paulo, SP, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. São Paulo, 2021, 53 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS DESIGNATION. D3080/D3080M-11: **Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions**. Overland Park (KS): ASTM International, 2011, 9 p.
- ARAUJO, A. G. **Análise do desempenho de poços de infiltração na cidade de Goiânia-GO**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2010, 133 p.
- BARBOSA, K. R. M.; SANTOS, E. C. G.; GUSMÃO, A. D. **Geogrid mechanical damage caused by recycled construction and demolition waste (RCDW) under in-field cyclic loading**. *Soils and Rocks*, São Paulo, Vol. 44 n. 2, 2021.
- BRITTO, A. F. S. **Permeabilidade de sistemas compostos de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e geotêxteis não tecidos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2020, 128 p.
- BRITISH STANDARD. BS 8006: **Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills**. British Standard Institution, 2010, 260 p.
- CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. **Reciclagem de Entulho para a produção de materiais de construção: Projeto Entulho Bom**. Salvador: Editora UFBA, 2001, 142-186 p.
- CBIC CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **PIB Brasil e Construção Civil – PIB e Investimento**. Disponível em: <[http:// www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil](http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil)>. Acesso em: 29 nov. 2021.
- COUTO, D. M.; SANTOS, E. C. G. **Permeabilidade de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R): Efeito da Presença de Material Concreto e do Grau de Compactação**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2016, Belo Horizonte. Anais de COBRAMSEG... Belo Horizonte, MG, 2016.
- DE MELO, A. B.; GONÇALVES, A. F.; MARTINS, I. M. **Construction and demolition waste generation and management in Lisbon (Portugal)**. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 55, 2011, 1252-1264 p.
- DI MARIA, A.; EYCKMANS, J.; VAN ACKER, K. **Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: combining LCA and LCC to support sustainable policy making**. *Waste Management*, Vol. 75, 2018, 3–21 p.
- DIAS, M. C. C. **Viabilidade do uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistemas de cobertura de aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2014, 111 p.
- DOBROVOLSKIENE, N.; TAMOŠIŪNIENĖ, R.; BANAITIS, A.; FERREIRA, F. A. F.; BANAITIENĖ, N.; TAUJANSKAITĖ, K.; MEIDUTĖ-KAVALIUSKIENĖ, I. **Developing a composite sustainability index for real estate projects using multiple criteria decision making**. *Operational Research - An International Journal*, Vol. 1, 2017, 1-19 p.
- DOMICIANO, M. L.; SANTOS, E. C. G.; LINS DA SILVA, J. **Geogrid Mechanical Damage Caused by Recycled Construction and Demolition Waste (RCDW): Influence of Grain Size Distribution**. *Soils and Rocks*, São Paulo, Vol. 43 n. 2, 2020, 231-246 p.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes – Volume I**. In: Berg, R. R.; Christopher, B. R.; Samtani, N. C. FHWA-NHI-10-024. FHWA, Washington, DC, 2010.
- FLEURY, M. P. **Resistência de geogrelhas após danos mecânicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2018, 157p.
- FLEURY, M. P.; SANTOS, E. C. G.; LINS DA SILVA, J.; PALMEIRA, E. M. **Geogrid installation damage caused by recycled construction and demolition waste**. *Geosynthetics International*, Vol. 26, n. 6, 2019, 641-656 p.

- FLEURY, M. P.; SIQUEIRA NETO, N.; SANTOS, E. C. G. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) na região metropolitana de Goiânia-GO**. In: GEOCENTRO - IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste. Goiânia, GO, 2017.
- LAFAYETTE, K. P. V.; PAZ, D. H. F.; HOLANDA, M. J. O.; COSTA, L. A. R. C. **Analysis of generation and characterization of construction and demolition waste on construction sites in the city of Recife, Brazil**. Revista Matéria (Rio de Janeiro), Vol. 23, n. 3, 2018.
- MASCARENHA, M. M. A.; CORDÃO NETO, M. P.; MATOS, T. H. C.; CHAGAS, J. V. R.; REZENDE, L. R. **Effects of the addition of dihydrate phosphogypsum on the characterization and mechanical behavior of lateritic clay**. Soils and Rocks, Vol. 41, n. 2, 2018, 57-170 p.
- MATOS, R. S. C. **Avaliação do efeito da jigagem em diferentes faixas granulométricas sobre as características do agregado graúdo reciclado de RCD e as propriedades do concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de PósGraduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2020, 127 p.
- MIRANDA, L.F.R. **Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição: teoria e prática**. Edit. Appris: Curitiba, PR, 2020, 203 p.
- NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION – NCMA. **Segmental Retaining Walls Best Practices Guide: for the Specification, Design, Construction, and Inspection of SRW Systems**. USA: Va., 2010, 64 p.
- OLIVEIRA, P. F. S., SANTOS, E. C. G. **Comparação entre os parâmetros geotécnicos de um resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) e uma areia natural**. In: 5ª Edição do Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste, Brasília. Anais de GEOCENTRO...Brasília, DF, 2019.
- OSSA, A.; GARCÍA, J. L.; BOTERO, E. **Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for pavement construction industry**. Journal of Cleaner Production, 2016, 379-386p.
- PASCHOALIN FILHO, J. A.; DIAS, A. J. G.; CORTES, P. L.; DUARTE, E. B. L. **Manejo de resíduos de demolição gerados durante obras da arena de futebol Palestra Itália (Allianz Parque) localizada na cidade de São Paulo/Brasil**. HOLOS, Vol. 6, 2013, 73-91 p.
- PEREIRA, C. **Tipos de Resíduos da Construção Civil (2018)**. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-residuos/>>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- ROSA, I. L.; SANTOS, E. C. G. **Fatores de Influência na Permeabilidade de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R)**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2016, Belo Horizonte. Anais de COBRAMSEG... Belo Horizonte, MG, 2016.
- ROSADO, L. P.; VITALE, P.; PENTEADO, C. S. G.; ARENA, U. **Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil**. Waste Management, Vol. 85, 2019, 477–489 p.
- SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2007, 168 p.
- SANTOS, E.C.G. **Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) e Solo Fino**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2011, 214 p.
- SANTOS, E. C. G.; PALMEIRA, E. M.; BATHURST, R. J. **Behaviour of a geogrid reinforced wall built with recycled construction and demolition waste backfill on a collapsible foundation**. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 39, 2013, 9–19 p.
- SANTOS, E. C. G.; PALMEIRA, E. M.; BATHURST, R. J. **Performance of two geosynthetic reinforced walls with recycled construction waste backfill and constructed on collapsible ground**. Geosynthetics International, Vol. 21, n. 4, 2014, 256–269 p.
- SANTOS, E. C. G.; VILAR, O. M.; ASSIS, A. P. **Statistical Analysis of Geotechnical Parameters of Recycled Construction and Demolition Waste (RCDW)**. In: 17th International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering. Alexandria - Egitó, 2009.

- SILVA, A. C.; SANTOS NETO, F. C.; FUCALE, S.; FERREIRA, S. **Avaliação da adição de Resíduos de Construção Civil (RCC) para estabilização de solos colapsíveis.** In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2016, Belo Horizonte. Anais de COBRAMSEG... Belo Horizonte, MG, 2016.
- SILVA, E. P.; SANTOS, E. C. G. **Influência do Grau de Compactação na Permeabilidade de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) Produzidos em Paudalho-PE.** In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2016, Belo Horizonte. Anais de COBRAMSEG... Belo Horizonte, MG, 2016.
- SILVA, M. V.; REZENDE, L. R.; MASCARENHA, M. M. A.; OLIVEIRA, R. B. **Phosphogypsum, tropical soil and cement mixtures for asphalt pavements under wet and dry environmental conditions.** Resources, Conservation & Recycling, Vol. 144, 2019, 123-136 p.
- SILVA, R. V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. **Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production.** Construction and Building Materials, Vol. 65, 2014, 201-217 p.
- SILVA, W. M.; SOUZA, L. O.; SILVA, A. M. **Utilização de resíduos da construção civil na cidade de Goiânia GO.** Enciclopédia Biosfera: Centro Científico do Saber. Goiânia, 2010, 1-10 p.
- SILVESTRE, G. R. (2019) **Redução da resistência de geogrelhas devido a danos químicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2019, 147 p.
- VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P. M. **Interface shear properties of geosynthetics and construction and demolition waste from large-scale direct shear tests.** Geosynthetics International, Vol. 23, n. 1, 2016, 62–70 p.
- VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P. M. **Influence of the geosynthetic type and compaction conditions on the pullout behaviour of geosynthetics embedded in recycled construction and demolition materials.** Sustainability, Vol. 14, n. 3, 2022.
- VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P.; FERREIRA, F.; LOPES, M. L. **Pullout behaviour of geogrids embedded in a recycled construction and demolition material. effects of specimen size and displacement rate.** Sustainability, Vol. 12, n. 9, 2020.
- VIEIRA, C.S.; PEREIRA, P.P.; LOPES, M.L. **Behaviour of geogrid-recycled construction and demolition waste interfaces in direct shear mode.** In: 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, Germany, 2014.