

Desempenho Mecânico de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição para Aplicação em Estruturas de Contenção em Gabiões

Maria Clara Alves Ferreira Ramos
UFMG, Belo Horizonte, Brasil, clara.alves.amb@gmail.com

Bennie Barreto Pereira de Oliveira
UFMG, Belo Horizonte, Brasil, benniebarreto@gmail.com

Gustavo Ferreira Simões
UFMG, Belo Horizonte, Brasil, gustavo@desa.ufmg.br

RESUMO: O setor da construção civil possui relevância econômica nacional, porém essa atividade ocasiona impactos ambientais, destacando a produção de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Destaca-se a fração inerte dos RCD, que possuem características similares aos agregados naturais (AN), indicando seu potencial uso na substituição dos AN. Este estudo objetiva avaliar as propriedades físicas e mecânicas da fração inerte dos RCD e seu desempenho como material de enchimento em estruturas de contenção utilizando gabiões. Foram analisadas as frações cinza, vermelha e mista dos agregados reciclados (AR) provenientes da Usina de Reciclagem de RCD da SLU-PBH. O programa experimental envolveu ensaios de índice de forma dos RCD e de compressão não confinada em células de gabião de dimensão de 0,4m x 0,4m x 0,4m. Os resultados do índice de forma indicam que a maior parte dos AR utilizados possui forma alongada, seguida da alongada-lamelar, lamelar e cúbica. Os resultados médios de carga, tensão vertical e deformação finais obtidos nos ensaios de compressão não confinada foram: para o gabião composto pela fração cinza 38 kN, 236 kPa e 14%; para o gabião com 25% de fração mista: 28 kN, 160 kPa e 13%; para o gabião com 25% de fração vermelha: 25 kN, 178 kPa e 14%. Os resultados sugerem que a fração cinza dos RCD reciclados apresentam maior potencial para a utilização pretendida.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de Construção e Demolição, Valorização de Resíduos, Estruturas de Contenção, Gabião

ABSTRACT: The civil construction sector has national economic relevance, but this activity causes environmental impacts, particularly the production of Construction and Demolition Waste (CDW). The inert fraction of CDW stands out, with similar characteristics to natural aggregates (NA), indicating its potential use in replacement of NA. This study aims to evaluate the physical and mechanical properties of the inert fraction of RCD, and its performance as filling material in retaining structures using gabions. The gray, red and mixed fractions of recycled aggregates (RA) from the SLU-PBH RCD Recycling Plant were analyzed. The experimental program covered shape index tests and unconfined compression tests in gabion cells measuring 0,4m x 0,4m x 0,4m. The shape index results indicate that most of the RA used has an elongated shape, followed by the elongated-lamellar, lamellar and a cubic. The average results of final load capacity, vertical stress and deformation obtained from the unconfined compression tests were: for the gabion composed of gray fraction: 38 kN, 236 kPa and 14%; for the gabion with 25% mixed fraction: 28 kN, 160 kPa and 13%; for the gabion with 25% red fraction: 25 kN, 178 kPa and 14%. The results suggest that the gray fraction of recycled RCDs has greater potential for the intended use.

KEYWORDS: Construction and Demolition Waste, Waste Valorization, Earth Retaining Structures, Gabion

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um importante segmento da indústria brasileira, associada diretamente ao crescimento econômico-social. Contudo, essa atividade também causa impactos ambientais e possui como

principal passivo ambiental a geração dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (IPEA, 2012). A disposição inadequada de resíduos sólidos causa impactos ambientais e problemas de saúde pública. Assim, o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos reduz os passivos ambientais e previne a propagação de doenças (Fonseca & Namen, 2021).

Não há no Brasil dados oficiais com quantitativos de geração de RCD, apenas sobre a quantidade coletada pelos serviços públicos de limpeza urbana de alguns municípios (Matias, 2020). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, em 2020, foram coletados 47 milhões de toneladas de RCD pelos sistemas de limpeza pública municipais. Apesar do esforço do poder público realizar a limpeza dos locais conhecidos como “bota-fora”, a disposição inadequada de RCD ainda é uma realidade no Brasil (Cordoba et. al, 2019).

No que tange à legislação nacional, em 2002 o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) aprovou a Resolução nº 307/02, que “estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil”. Essa Resolução, entre outros assuntos, determina a segregação dos resíduos em diferentes classes e sua disposição correta (BRASIL, 2002).

A Resolução identifica os resíduos de construção civil da seguinte forma: Classe A - resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados; Classe B - resíduos recicláveis para outras destinações; Classe C - resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação e Classe D - resíduos perigosos (BRASIL, 2002). Os RCD Classe A foram objetos deste trabalho, exclusivamente as frações que correspondem a tijolos, azulejos, telhas, argamassas, rochas ornamentais e concretos variados.

Tendo em vista que a fração inerte desses resíduos possui propriedades semelhantes às dos agregados naturais, a reutilização, reciclagem e outras formas alternativas de destinação final dos RCD tornam-se uma prática remota, que remonta à época da Segunda Guerra Mundial (Matias, 2020). A literatura internacional demonstra a segurança da utilização dos RCD como base e sub-base para pavimentação e como agregados reciclados (AR) na produção de concreto. Essas aplicações são amplamente empregadas em países europeus, os quais possuem normas técnicas que estabelecem os limites de substituição dos agregados para determinados fins (Silva *et al.*, 2019).

No fim da década de 1990, iniciaram no Brasil as pesquisas sobre a utilização de RCD em obras geotécnicas, com a utilização de AR na pavimentação e na confecção de blocos de concreto (Lima, 1999). Desde então outros estudos com a aplicação do RCD foram realizados, sendo os mais relevantes: o emprego do RCD como camadas drenantes e material alternativo para sistema de cobertura de aterros sanitários, material de preenchimento de estruturas de solos reforçados e estabilização do solo (Pereira *et al.*, 2015).

De forma geral, o gabião pode ser definido como um elemento prismático, na forma de caixa, com faces formadas por telas metálicas, preenchidos por material rochoso de granulometria e propriedades apropriadas às aplicações desejadas. Estruturas de contenção do tipo gabião são empregadas para solucionar problemas geotécnicos, hidráulicos e no controle de erosão.

Em função da quantidade de RCD gerados, dos impactos das disposições inadequadas, e considerando a equivalência entre as propriedades dos RCD Classe A com os agregados naturais, o trabalho objetiva caracterizar os AR de RCD, para investigar a viabilidade e limitações do seu uso como material de enchimento de estruturas de contenção do tipo gabião, fundamentando-se na comparação das propriedades físicas e mecânicas dos AR com as rochas normalmente utilizadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os RCD utilizados neste trabalho foram provenientes da Estação de Reciclagem de RCD da BR-040 da Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte. A unidade recebe os RCD Classe A devidamente segregados em caçambas. Assim que chegam na Usina, os RCD são dispostos em leiras para remover resquícios de outras classes de RCD. A seguir, o material selecionado é encaminhado para o britador, que brita RCD em diferentes granulometrias, variando desde a bica corrida até a areia fina. Dentre os AR produzidos, o escolhido foi o rachão, com dimensões entre 8 e 20 cm. A escolha advém da premissa de que o material de enchimento deve possuir dimensões superiores à da malha da tela do gabião.

Para o preenchimento dos gabiões usualmente são empregadas rochas limpas, compactas, não friáveis e não solúveis em água, para que tais elementos sejam capazes de garantir a resistência requerida nas obras as

quais se destinam. Em geral, as dimensões do material pétreo devem ser limitadas entre uma a duas vezes e meia a distância entre os trechos de torção da malha.

Os AR foram divididos em três frações em função das suas características: fração cinza - composta por argamassas, concretos e rochas ornamentais; fração vermelha - composta por materiais cerâmicos, como azulejos, telhas e tijolos; e a fração mista correspondendo aos agregados que possuem frações cinza e vermelha.

A caracterização do AR selecionados é apresentada em Ramos *et al.* (2023). A composição gravimétrica indicou 75% de fração cinza; 14% de fração mista e 10% de fração vermelha. Os AR vermelhos apresentaram o maior teor de umidade, que variou de 8,4 a 18,8%, maior absorção de água (18%), e menor massa específica (1,5 g/cm³). Contudo, a fração cinza apresentou menor teor de umidade (5,3 a 7,7%), menor absorção de água (8,8%) e maior massa específica (1,8 g/cm³). Já a fração mista obteve resultados intermediários. Os resultados dos ensaios de massa unitária indicaram 1.211 kg/m³ para a amostra contendo apenas fração cinza, 1.164 kg/m³ para amostra composta com 50% de fração cinza 50% de fração mista e de 1.098 kg/m³ para amostra composta com 50% de cinza e 50% de vermelha.

Em relação a caracterização mecânica, o ensaio de abrasão *Los Angeles* indicou que a amostra com 50% em massa de AR misto e o restante de fração cinza e a amostra contendo apenas fração cinza obtiveram a menor perda por abrasão, com 57%. Quanto à resistência à compressão pontual (“*Point Load Test*”), a fração cinza resultou em uma média de 1,5 kPa, 1,2 kPa para a fração mista e 0,5 kPa para a fração vermelha. Os ensaios de durabilidade, avaliada no ensaio “*Slake Durability*” para 2 ciclos de umedecimento e secagem, não demonstraram diferença significativa entre as frações cinza, mista e vermelha.

Devido à ausência de normas técnicas que orientem a caracterização do material de enchimento, indicando os limites de desempenho esperados, o programa experimental realizado utilizou como base as normas nacionais e internacionais para ensaios de caracterização de rochas, caracterização de agregados para confecção de concretos, além do ensaio de desempenho mecânico de materiais.

2.1 Ensaios realizados

2.1.1 Índice de Forma

Para a execução desse ensaio, foram utilizadas amostras compostas pelos diferentes componentes dos RCD (concretos, argamassas tijolos, azulejos e rochas ornamentais) e suas diferentes dimensões e formas. O ensaio foi realizado conforme instruções da NBR 7809 (ABNT, 2019). O índice de forma é obtido pela relação entre as três dimensões da amostra, possibilitando a classificação do agregado em função da sua forma cúbica, lamelar, alongada e alongada-lamelar.

Para os concretos, a forma do agregado gráudo influencia nas propriedades mecânicas do mesmo. Agregados contendo partículas inadequadas são prejudiciais e agregados com graus mais elevados de cubicidade apresentam resistência mais elevada e propiciam melhor trabalhabilidade do concreto (Silva *et al.*, 2020). Apesar de não ser especificada uma forma ideal para o material pétreo utilizado no preenchimento de gabiões, é importante que haja certa angularidade, uma vez que essa característica possibilita um maior intertravamento das partículas. O contato ponto a ponto entre as superfícies dos elementos deve ser mantido, para que haja transferência de carga de um elemento para outro (SANTOS JUNIOR, 2018).

O ensaio foi executado utilizando uma régua graduada, para que houvesse maior celeridade nas medições para a caracterização de todos os agregados utilizados no preenchimento dos módulos de gabião a serem submetidos ao ensaio de compressão não confinada.

2.1.2 Ensaio de resistência à compressão não confinada de um módulo de gabião

O ensaio de compressão não confinada foi realizado com três diferentes amostras ensaiadas em triplicata, quais sejam: somente fração cinza; amostras compostas com 75%, em massa, da fração cinza e 25% da fração vermelha; e com 75% da fração cinza e 25% da fração mista. O equipamento utilizado foi a prensa de compressão EMIC com capacidade máxima de 300 kN de carga vertical, além de: 3 chapas metálicas; placa de neoprene; 4 extensômetros analógicos de curso 50mm, sensibilidade 0,01mm; 4 suportes magnéticos para extensômetros; 2 trenas de 3 metros e fio de nylon de 1mm de espessura.

Os extensômetros foram fixados em cada extremidade da placa de neoprene para medir o deslocamento vertical do gabião durante a aplicação das cargas. As duas trenas foram fixadas na lateral distando 10 cm da

base e do topo do gabião e na ponta de cada trena foi fixado um fio de nylon, de forma que o perímetro do gabião fosse circundado, e a outra ponta do fio foi fixada na outra extremidade de trena. Isto é, à medida que a estrutura metálica do gabião se deformasse seria possível medir o novo perímetro após a aplicação de carga, bem como avaliar a deformação volumétrica.

A aplicação de carga pela prensa foi realizada manualmente e a cada 100N de incremento de carga, os extensômetros eram aferidos, em seguida o deslocamento das trenas, além do deslocamento registrado pela máquina e a carga final, registrada após as leituras. De posse da variação da altura média, indicada pelos 4 extensômetros e do perímetro do gabião em cada estágio de aplicação de carga, o volume foi recalculado. O critério utilizado para determinar o final do ensaio foi o limite de medição dos extensômetros, ou seja, quando os 4 extensômetros perdiam o contato com a placa superior, o ensaio era finalizado. Destaca-se que este limite já configura uma deformação excessiva, que pode ser interpretada como um estado limite de utilização.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Índice de Forma

Os resultados médios de índice de forma para os três tipos de gabião montados são apresentados na Figura 1. Observa-se grande variabilidade do índice de forma em cada gabião, pois o preenchimento foi realizado de forma aleatória, isto é, os AR não foram segregados em função do seu formato, somente por fração, e foram adicionados seguindo apenas o critério de dimensão superior à abertura da malha hexagonal.

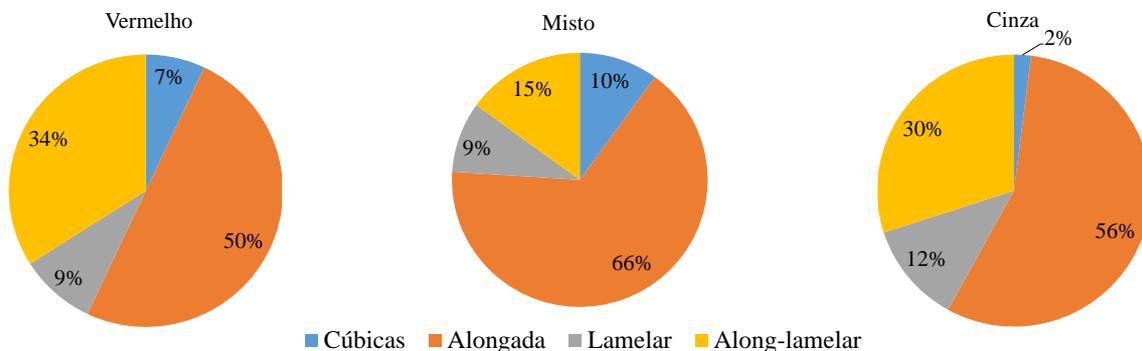


Figura 1. Índice de forma médio para os gabiões.

Os gráficos sugerem que a maior parte dos AR utilizados possui forma alongada, seguida da forma alongada-lamelar, lamelar e em menor proporção a forma cúbica. A fração vermelha foi a que apresentou a maior porcentagem de elementos alongados-lamelares, que muito provavelmente estão associados a azulejos e telhas. Contudo, a fração vermelha e mista compuseram apenas 25% das amostras, portanto o índice de forma predominante nas amostras é o da fração cinza.

De forma, geral, nos AR prevalecem a forma alongada, constituindo, para todas as frações, valores acima de 50%. Santos Júnior (2018) recomenda minimizar a utilização de elementos planos e alongados ao preencher o gabião, pois tal característica advém de rochas com maior dureza, que podem danificar a malha em função da dureza e angularidade. Considerando que os AR possuem uma dureza inferior à das rochas comumente utilizadas, a angularidade evidenciada nas formas alongada e alongada-lamelar possui baixo potencial de causar impactos danosos à malha do gabião.

3.2 Ensaio de resistência a compressão não confinada de um módulo de gabião

3.1.1 Montagem do Gabião

De posse do volume e da massa de cada gabião após preenchimento e da massa específica média de cada fração, foi calculada a massa específica aparente (kg/m^3), a massa específica da mistura (g/cm^3) e a porosidade (%) de cada gabião, juntamente com o índice de forma dos agregados utilizados.

O resultado médio de densidade aparente de cada fração foi de $1.160,5 \text{ kg/m}^3$ para os gabiões com fração vermelha, $1.253,7 \text{ kg/m}^3$ para os mistos e $1.276,3 \text{ kg/m}^3$ para os cinzas. Os resultados mostram que as amostras

compostas por materiais cerâmicos atingiram o menor valor para esse índice físico, enquanto que as frações mista e cinza tiveram valores próximos. Esses resultados refletiram na densidade da mistura, onde a fração vermelha obteve média de $1,72 \text{ g/cm}^3$, enquanto as frações mista e cinza resultaram em $1,81 \text{ g/cm}^3$.

Os resultados de massa específica aparente seca e massa específica da mistura, sugerem uma semelhança entre os gabiões preenchido apenas de AR cinza e os compostos com AR cinza e misto, além de destacar a diferença das amostras compostas por AR vermelho. Quanto à porosidade, todos os gabiões apresentaram valores inferiores a 40%, limite sugerido por Barros (2005), com média de 37,1% para os vermelhos, 35,6% para os mistos e 36,2% para os cinzas.

De forma geral, os resultados sugerem que os índices físicos dos gabiões constituídos de AR cinza e 25% de fração mista, são semelhantes, diferindo das amostras com 25% de fração vermelha.

3.1.2 Ensaio de compressão não confinada

A Figura 2a exibe o gabião G5 (somente fração cinza) no início do ensaio, ou seja, antes da aplicação de carga vertical, e ao final do ensaio (Figura 2b), após os extensômetros se desconectarem do neoprene, sinalizando o final do ensaio. Analisando a Figura 2 nota-se o aumento do perímetro do gabião, causado pela deformação das laterais, o que é evidenciado pelo deslocamento da régua das trenas. Além disso, é constatada a fragmentação dos AR que preenchem o gabião, bem como a inclinação horizontal do neoprene para a lateral esquerda. Deve ser destacado que para as dimensões dos módulos de gabião ensaiados, a rigidez das emendas e costuras nas arestas contribuiu para a resistência observada, devendo ser um aspecto a ser melhor investigado.



Figura 2. (a) Gabião G5 no início do ensaio, sem aplicação e carga e (b) G5 no fim do ensaio.

Durante os incrementos de carga foi possível escutar o ruído dos AR se acomodando, até que os ajustes chegavam ao limite e as tensões entre as partículas conduziam à sua fragmentação. Este comportamento também é previsto para as rochas utilizadas como material de enchimento. Segundo Agostini *et al.* (1987 *apud* SANTOS JUNIOR, 2018) em um primeiro momento, ao aplicar carga no gabião há a acomodação das rochas até deformações verticais de 10%, em seguida, o aumento de tensão na malha e nas rochas periféricas na região perimetral restringem os elementos centrais, acarretando a fragmentação das rochas.

Os resultados finais médios dos ensaios das 9 amostras estão apresentados na Tabela 1, indicando as deformações verticais finais, bem como as cargas e tensões verticais máximas. O ensaio da amostra G3 foi eliminado, uma vez que o teste foi finalizado antes que todos os extensômetros se desconectassem do neoprene, pois havia risco de danificar o equipamento.

Analisando os resultados médios para cada grupo, observa-se que a fração cinza foi a que apresentou o menor desvio padrão para as variações de altura, além de ter suportado a maior carga de 42,37 kN, com valor médio de 37,95 kN. Já as amostras vermelhas apresentaram o pior desempenho no ensaio, ou seja, estes gabiões não suportaram mais de 33,84 kN, obtendo uma média de 25,43 kN. Apesar das amostras contendo fração mista exibirem índices físicos semelhantes aos dos gabiões cinza, a média de carga máxima foi de 29,93 kN, resultado inferior à média para os gabiões cinza.

Tabela 1. Resultados finais médios dos ensaios de compressão não confinada

Fração	$\Delta H/H_0$ (%)		Carga máxima (kN)		Tensão vertical máxima (kPa)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Cinza	14,12	0,66	37,95	5,88	236,17	41,92
25% Vermelha	13,65	0,13	25,43	7,46	159,90	46,09
25% Mista	13,03	0,07	27,57	3,34	177,86	20,27

A Figura 3 apresenta as curvas carga vertical aplicada *versus* deformação vertical dos gabiões ensaiados. Objetivando comparar o desempenho dos AR com rochas comumente utilizadas, foi inserida uma série de dados com os resultados do trabalho de Camelo (2019), obtido para a compressão de um módulo de gabião com as mesmas dimensões e preenchido com basalto, que apresentou carga máxima de 38,3 kN. Ademais, foi adicionado aos gráficos o intervalo de confiança de 95% para os resultados obtidos neste trabalho, a partir de um ajuste polinomial do terceiro grau, indicado apenas de forma ilustrativa.

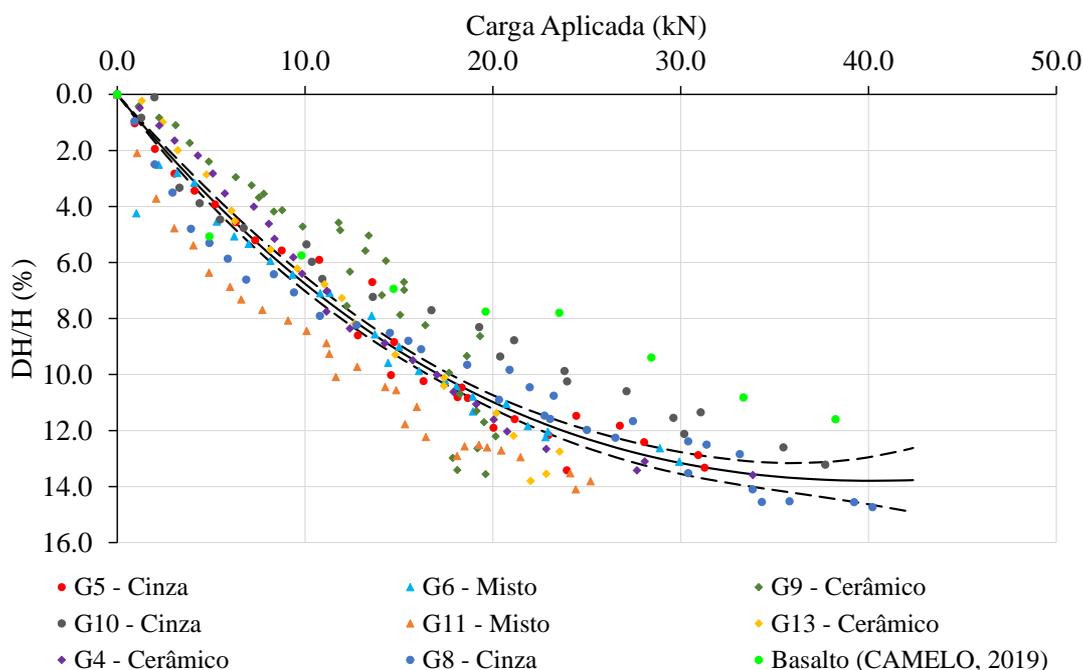


Figura 3. Curvas carga *versus* variação da deformação vertical das amostras.

Observa-se na Figura 3 que as amostras G5-G8 e G4-G13 apresentaram comportamentos mais próximos, com valores de carga e deformação semelhantes. As amostras compostas por 25% de fração mista, apresentaram menor homogeneidade. Comparando todos os ensaios realizados com o ensaio de basalto obtido por Camelo (2019), nota-se a menor deformação vertical do gabião preenchido com rocha para maiores cargas, resultado esperado em função das propriedades mecânicas desta rocha.

Os resultados apontam que o gabião composto pela fração cinza suportou uma capacidade de carga média de 38 kN para uma deformação vertical de 14%, enquanto o gabião com 25% de fração mista chegou a uma carga média de 28 kN para uma deformação vertical de 13%. Por fim, a amostra com 25% de fração vermelha suportou a menor carga, de 25 kN com deformações de aproximadamente 14%. Somente para as amostras da fração cinza foi observado que o menor valor de carga pode ser atribuído ao gabião com maior porosidade. Camelo (2019) obteve cargas máximas de 28 kN e 32 kN, ao ensaiar gabiões de mesmas dimensões preenchidos com fração cinza, resultados inferiores aos desta pesquisa. Tal diferença pode estar vinculada à montagem do gabião e à qualidade dos RCD utilizados.

A Figura 4 apresenta as curvas tensão vertical aplicada *versus* deformação dos gabiões ensaiados. A tensão vertical foi calculada a partir das cargas aplicadas e da área corrigida. A área corrigida foi calculada pela média dos valores obtidos a partir da análise dos deslocamentos perimetrais medidos e a partir da área inicial e da deformação vertical.

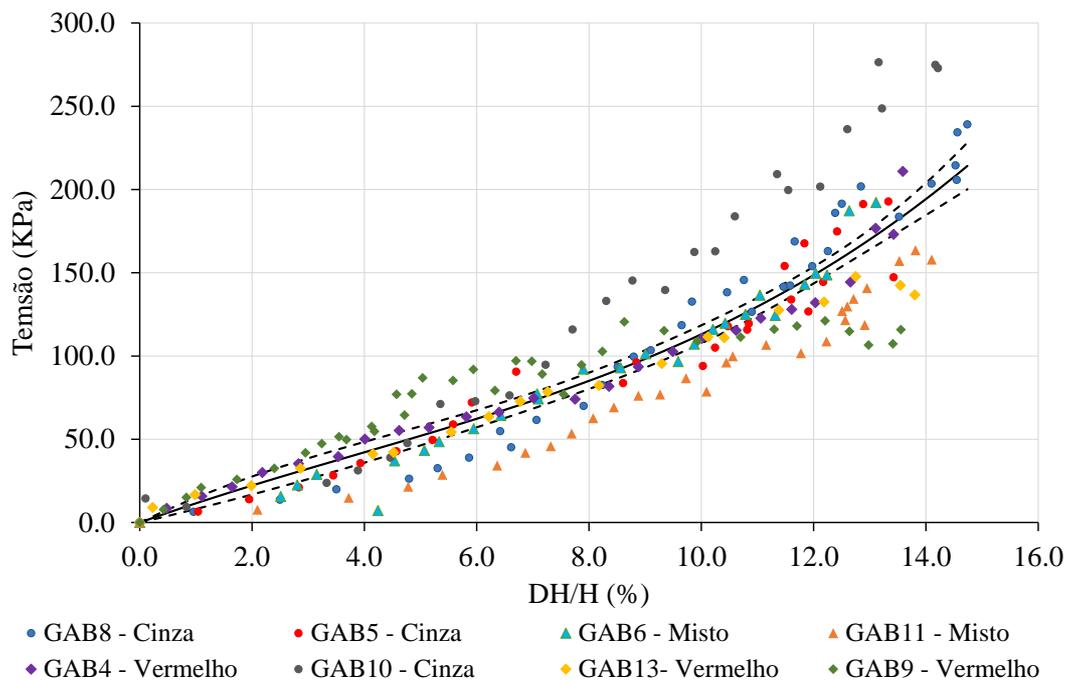


Figura 1. Curvas tensão vertical versus variação da deformação vertical das amostras.

Considerando o limite de deformação dos ensaios, em torno de 15%, as curvas sugerem uma tendência de endurecimento por deformação, contudo algumas amostras de fração vermelha começaram a mostrar um limite e posterior diminuição na capacidade de suportar cargas maiores. Já para as amostras de gabião cinza e misto, as curvas indicaram comportamentos semelhantes, apresentando desenvolvimento crescente, sem a indicação de um limite indicativo de ruptura.

Os resultados de tensão vertical obtidos foram comparados com os de Santos Júnior (2018), que realizou o ensaio de compressão não confinada para uma célula de gabião de dimensões de 1,0m x 1,0m x 1,0m com a mesma malha hexagonal, preenchida com granito. A tensão máxima obtida por Santos Júnior (2018) foi de 290,6 kPa. A comparação deste valor com valor máximo de tensão registrado nas 9 amostras, de 276,49 kPa para o GAB 10, confirma a potencialidade da utilização da fração cinza, mesmo considerando a diferença entre as deformações máximas verticais observadas (9,2% para o gabião de granito e 14,2% para o GAB 10). Para as demais amostras a diferença foi maior, com a fração vermelha apresentando uma tensão máxima de 147,72 kPa para deformação máxima vertical de 12,7%, e a fração mista, 192,19 kPa e 13,7%, respectivamente. É importante considerar que os gabiões ensaiados neste trabalho possuíam dimensões menores do que os de Santos Júnior (2018). Essa característica influenciou nos resultados obtidos, uma vez que os gabiões ensaiados têm maior área de tela por quilograma de material de enchimento, o que pode ter conferido maior rigidez ao conjunto.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, observa-se que, mesmo sem atingir uma ruptura física do gabião, os elevados níveis de deformações observados já sugerem um estado limite de utilização. Em linhas gerais, os resultados sugerem que os gabiões compostos apenas pelos AR cinza são promissores por apresentarem o melhor desempenho mecânico.

4 CONCLUSÃO

Quanto às características dos gabiões ensaiados, a porosidade apresentou resultados dentro da faixa recomendada (entre 30 a 40%) para todas as amostras. O ensaio de compressão não confinada sugeriu que a fração cinza se aproxima do comportamento dos materiais pétreos normalmente utilizados, chegando à carga máxima média de 38 kN, e de 25 kN para a amostra com 25% de fração vermelha. Analisando os resultados de índice de forma juntamente com os ensaios de de compressão não confinada, não foi encontrada correlação entre a maior utilização de AR alongados ou alongados-lamelares com um pior desempenho mecânico. Quanto

a possibilidade de degradação da malha metálica do gabião, ao final dos ensaios não foram observado danos visíveis.

Ainda que os resultados sejam promissores, é fundamental que sejam ensaiados gabiões preenchidos com RCD em escala real, a fim de que a proporção tela/material de enchimento não influencie no resultado. Dessa forma, evidencia-se o potencial uso dos RCD, principalmente da fração cinza, como material de enchimento do gabião. Pois além de valorar parte dos RCD na forma de agregados, evita a exploração de recursos naturais e a sua disposição inadequada e em aterros, estimulando a reciclagem e a reutilização dos resíduos, conforme preconizado pela Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Contudo, estudos em escala real são essenciais para comprovar a segurança de utilização, promover o estabelecimento de protocolos experimentais únicos e definir precisamente quais são as limitações do uso desse material de enchimento.

AGRADECIMENTOS

Aos Departamentos de Engenharia de Minas, de Engenharia de Materiais e da Construção Civil e de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG pelo suporte na realização dos experimentos. À Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte pelo fornecimento das amostras de RCD e por todo o suporte nos ensaios realizados em campo. À Empresa Maccaferri pelo fornecimento dos módulos de gabião.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 7809: *Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio*.
- Barros, P.L.A. (2005). *Manual técnico de obras de contenção*. 1. ed. São Paulo: Maccaferri do Brasil.
- BRASIL (2002). Resolução CONAMA nº307. *Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil*.
- BRASIL (2010). Lei 12.305/2010 de 02 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília.
- Camelo, D. G. (2019). *Estudo da utilização de resíduos de construção civil para preenchimento de gabiões caixa*. 205 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho.
- Córdoba, R.E.; Neto, J. C. M.; Santiago, C.; D Pugliesi, E.; Schalch, V. (2019). Alternative construction and demolition (C&D) waste characterization method proposal. *Rev. Eng. Sanit. Amb.*, v. 24, p. 199-212.
- Fonseca, F.L.C.; Namen, A.A. (2021). Characteristics and patterns of inappropriate disposal of construction and demolition waste in the municipality of Cabo Frio, Brazil. *Rev. Bras. Gestão Urbana*, v. 13, p. 1-19.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012). *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil*. Relatório de Pesquisa. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília.
- Lima, J.A.R. (1999). *Proposição de Diretrizes Para Produção e Normalização de Resíduo de Construção Reciclado e de suas Aplicações em Argamassas e Concretos*. 1999. 240p. Tese de Doutorado – EESC-USP.
- Matias, A.N. (2020). *Resíduos de construção e demolição à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Dissertação (Mestrado) – UNILA, Foz do Iguaçu.
- Pereira, S.M.; Gusmão, A.D.; Vilar, O.M.; Palmeira, E.M.; Santos, E.C.G. (2015). Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) em Obras Geotécnicas. In: 7 Congresso Brasileiro de Geossintéticos, Brasília, *Anais... ABMS*.
- Ramos, M.C.A.F.; Oliveira, B.B.P.; Lopes, A.R.M.; Simões, G.F. (2023). Caracterização de resíduos de construção e demolição reciclados para aplicação em estruturas de contenção em gabiões. In: X Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO 2023, Salvador, *Anais... ABMS*.
- Santos Junior, P.J. (2018). *Gabiões e estruturas de arrimo: Análise teórico numérico-experimental do comportamento mecânico*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas/SP.
- Silva, D.A.; Geyer, A.L.B.; Pantoja, J. C. (2020). Estudo da forma do agregado graúdo e sua influência no módulo de elasticidade do concreto. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], p. 60426-60440.
- Silva, R.V.; De Brito, J.; Dhir, R.K. (2019). Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications. *Journal of Cleaner Production*, p. 1-9.