

17. Ciência, Tecnologia e Inovação

Desempenho de blocos de terra comprimida com resíduos de construção e demolição incorporados

Mello, Tiago; tiagoaugustogm@ufmg.br ; Bessa, Sofia; sofiabessa@ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais

Resumo

A construção civil é um dos setores de maior relevância no cenário econômico brasileiro. Entretanto, é um dos ramos que mais impacta negativamente o meio ambiente. Cerca de 60% de todo o resíduo sólido gerado no Brasil é proveniente das atividades de construção e demolição, o que equivale a cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) geradas por ano. A reciclagem do RCD é uma alternativa à degradação ambiental causada por sua alta geração e má deposição. Este trabalho teve como objetivo investigar o desempenho de blocos de terra comprimida (BTC) com RCD incorporado. Para tanto, os materiais utilizados foram caracterizados, afim de uma melhor compreensão de suas propriedades, e, em seguida, aplicados na confecção de BTCs com altos teores de incorporação de RCD (60%, 80% e 100%) em substituição à areia. As amostras foram avaliadas segundo a resistência à compressão e o percentual de absorção, tendo o melhor grupo passado, posteriormente, por análises de durabilidade. O material teve desempenho superior às exigências das normas técnicas nos ensaios preliminares e inferior nos testes de durabilidade, estando apto a ser utilizado sem função estrutural, desde que adequadamente revestido. A viabilidade técnica do uso do RCD e sua compatibilidade com o solo na produção de BTCs foi comprovada. O uso do RCD em produtos a base de terra reforça a importância da busca por soluções construtivas de baixo impacto econômico e ambiental.

Palavras-chave: Sustentabilidade, compressão axial, absorção, durabilidade, cimento pozolânico.

17. Ciência, Tecnologia e Inovação

Desempenho de blocos de terra comprimida com resíduos de construção e demolição incorporados

Mello, Tiago; Bessa, Sofia

tiagoaugustogm@ufmg.br; sofiabessa@ufmg.br

Escola de Arquitetura

Universidade Federal de Minas Gerais

Resumo

A construção civil é um dos setores de maior relevância no cenário econômico brasileiro. Entretanto, é um dos ramos que mais impacta negativamente o meio ambiente. Cerca de 60% de todo o resíduo sólido gerado no Brasil é proveniente das atividades de construção e demolição, o que equivale a cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) geradas por ano. A reciclagem do RCD é uma alternativa à degradação ambiental causada por sua alta geração e má deposição. Este trabalho teve como objetivo investigar o desempenho de blocos de terra comprimida (BTC) com RCD incorporado. Para tanto, os materiais utilizados foram caracterizados, afim de uma melhor compreensão de suas propriedades, e, em seguida, aplicados na confecção de BTCs com altos teores de incorporação de RCD (60%, 80% e 100%) em substituição à areia. As amostras foram avaliadas segundo a resistência à compressão e o percentual de absorção, tendo o melhor grupo passado, posteriormente, por análises de durabilidade. O material teve desempenho superior às exigências das normas técnicas nos ensaios preliminares e inferior nos testes de durabilidade, estando apto a ser utilizado sem função estrutural, desde que adequadamente revestido. A viabilidade técnica do uso do RCD e sua compatibilidade com o solo na produção de BTCs foi comprovada. O uso do RCD em produtos a base de terra reforça a importância da busca por soluções construtivas de baixo impacto econômico e ambiental.

Palavras-chave: Sustentabilidade, compressão axial, absorção, durabilidade, cimento pozolânico.

Introdução

Nos últimos anos, os valores e a conscientização relacionados a políticas de viés ambiental e ao desenvolvimento sustentável têm sido institucionalizados ao redor do mundo, em maior ou menor grau, através da influência da mídia, de movimentos sociais e pelos governos (Barbieri *et al.*, 2010). Seguindo essa

tendência, as políticas, as diretrizes e a legislação brasileira dos últimos anos se alinharam ao gerenciamento integrado e sustentável dos resíduos.

A construção civil é um dos setores de maior relevância no cenário econômico brasileiro. Sua importância é evidenciada mesmo em períodos de recessão, sendo, ainda nesse contexto,

responsável por cerca de 6% do PIC (CBIC, 2017). De acordo com dados do IBGE (2016), somente nas principais regiões metropolitanas do país, o total de brasileiros vinculados às atividades desse domínio no mercado formal equivalia a 1,7 milhões de pessoas.

Embora essencial, o setor também é um dos que mais impacta negativamente o meio ambiente. O impacto ambiental causado pela produção e descarte desses resíduos é um dos principais do planeta, seja pela quantidade descartada diariamente ou pelo uso irracional das jazidas de recursos naturais (BAPTISTA Jr e ROMANEL, 2013).

Em 2016, cerca de 60% de todo o resíduo sólido gerado no Brasil teve como origem as atividades de construção e de demolição. Isso equivale a, aproximadamente, 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) gerados por ano (ABRELPE, 2016). Porém, levando em consideração o cenário nacional da gestão de resíduos sólidos, sabe-se que esse volume pode ser ainda maior, quando contemplados os números referentes aos descartes clandestinos em logradouros públicos. Em Belo Horizonte, nessa situação, em torno de 230 toneladas de resíduo são coletados por dia (SLU/PBH, 2018).

Para além da racionalização dos processos construtivos, que evita o desperdício e aumenta a eficiência da produção (MOURA e SÁ, 2013), a reciclagem desse resíduo vê-se, também, como alternativa sustentável à degradação ambiental causada por sua alta geração. A reutilização e a reciclagem de RCD, inclusive dentro da própria indústria da construção civil, tem se mostrado uma eficiente alternativa para minimizar esses impactos. Entretanto, “a quantidade de RCD reciclado no Brasil (20%) é pequena quando comparado à de outros países, como o Reino Unido (52%), a Holanda (92%), a Bélgica (89%), a Áustria (48%) e a Dinamarca (81%)” (BRASILEIRO & MATOS, 2015).

O estudo e a comprovação da viabilidade técnica de materiais reciclados possibilitam maior visibilidade de alternativas aos materiais convencionais encontrados no mercado, além de oferecer maior segurança aos profissionais e instituições que possuem interesse em opções ambientalmente sustentáveis. Os benefícios de sua reutilização diminuem a possibilidade de deposição de resíduos em locais inadequados, bem como a necessidade de extração de matéria-prima em jazidas, nem sempre fiscalizadas sob

ponto de vista ambiental (BAPTISTA Jr e ROMANEL, 2013).

Todavía, a composição do RCD é variável, dependendo do estágio de desenvolvimento da indústria local, da qualidade da mão de obra disponível, das técnicas construtivas utilizadas, da adoção de programas de qualidade, da fase da obra etc. ambiental (BAPTISTA Jr e ROMANEL, 2013). Por esses motivos, a ciência cumpre importante função, uma vez que, através de investigações criteriosas, torna-se possível caracterizar e aplicar novamente esse material na cadeia produtiva da construção civil. No Brasil, muitos pesquisadores buscam mitigar os danos de sua alta geração através de sua incorporação no ciclo construtivo como material de construção.

Santos *et al.* (2015) estudaram a performance e os impactos na redução de custo de pavimentações com uso de solo e RCD reciclado em vias de tráfego intenso. O material estudado cumpriu as exigências estabelecidas pelas normas nacionais e teve um custo total 8,8% menor do que o padrão.

Gomes *et al.* (2015) analisaram o desempenho do RCD incorporado visando à verificação da viabilidade da produção de concreto leve e obtiveram

como resultado concretos de média resistência.

Todavía, no âmbito da construção civil, sabe-se que o consumo energético para a fabricação de materiais industrializados é elevado. O processo de confecção de componentes cerâmicos, por exemplo, demanda, durante o processo de queima, temperaturas entre 900 e 1000°C. Dessa forma, soluções que contemplem também o uso de materiais naturais (não calcinados) são necessárias (MELO *et al.*, 2011).

O uso da terra destaca-se como uma solução possível. A terra é um dos mais antigos materiais construtivos, tendo deixado vestígios em inúmeras regiões e civilizações. Estima-se que um terço da população mundial habita ou trabalha em edificações construídas com terra (PIATTONI *et al.*, 2011; MINKE, 2015) e grande parte das cidades coloniais brasileiras foi erguida através de seu uso, devido à influência portuguesa.

Todavía, com o advento da revolução industrial e o surgimento dos materiais produzidos em larga escala, essas técnicas deixaram de ter protagonismo no contexto formal da construção no país, sendo, inclusive, associadas à precariedade e a pobreza (MELO *et al.*, 2011). Desde então, pouco se evoluiu

tecnologicamente em consequência de seu desuso.

Ao longo dos últimos cinquenta anos, uma das tecnologias com terra que mais tem sido aprimorada é a dos blocos de terra comprimida (BTC), sendo eles cada vez mais utilizados em países desenvolvidos, como a Austrália e os Estados Unidos (MOREL *et al.*, 2007). Os BTCs são fabricados a partir de misturas de solo arenosos e estabilizantes químicos, sendo o cimento o mais utilizado. O material atinge grau de compactação mecanicamente, através de prensas manuais ou hidráulicas e as forças aglutinantes da argila são interrompidas devido ao uso do cimento. Dessa maneira, o BTC também se apresenta como uma alternativa aos tijolos cerâmicos, já que produção não demanda altas temperaturas para cura, (PIATTONI *et al.*, 2011; MINKE, 2015).

Buson (2009) realizou um estudo com fibras de papel Kraft para a confecção de BTCs e argamassa para assentamento. Apresentou resultados de 29% de absorção, em média, para os blocos com resíduo. O melhor resultado para os ensaios de compressão foi de 7,2 MPa, sendo de um bloco com incorporação das fibras. Parte da pesquisa consistiu na avaliação do desempenho de

alvenarias em ensaios de resistência ao fogo. Os melhores resultados foram obtidos com os BTC produzidos com fibras dispersas de papel Kraft.

Lima *et al.* (2012) produziram BTCs com incorporação de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) e analisaram séries produzidas com 6% e 12% de cimento. Para a série com 12% de cimento, os blocos de referência (sem CBC) atingiram o valor médio de 3,13 MPa aos 28 dias, enquanto que os blocos com 8% de CBC chegaram a 2,88 MPa.

Gutierrez *et al.* (2013) propuseram investigações voltadas para o uso de cal em substituição ao cimento como estabilizante na confecção de BTC no México. Os resultados apontaram o melhor desempenho mecânico nos ensaios de resistência à compressão dos blocos confeccionados com cal, embora, por serem mais porosos, eles absorvam, em média, 11% a mais de água nos testes de absorção.

Jiménez (2016) realizou ensaios de resistência à abrasão com BTC confeccionados com seivas vegetais. A análise dos testes permitiu identificar que os blocos feitos com seiva apresentaram melhor performance.

Objetivos

Em consonância às políticas públicas e dada a real necessidade de atribuir finalidade em larga escala ao grande montante de RCD gerado, torna-se necessário investigar a viabilidade de sua aplicação na construção civil.

Dessa maneira, considerando a importância da inclusão desses resíduos nos materiais de construção e priorizando as técnicas construtivas à base de terra, volta-se ao objetivo geral desse trabalho, que trata da incorporação de RCD na produção de BTCs e a avaliação de seu potencial enquanto componente construtivo.

Materiais e Métodos

A pesquisa foi dividida em quatro fases, sendo elas: i) coleta e caracterização dos materiais necessários; ii) produção dos BTCs com RCD incorporado; iii) avaliação do desempenho mecânico dos blocos; e iv) análises de durabilidade em corpos de prova cilíndricos (CPs).

As duas primeiras fases do estudo foram desenvolvidas no Núcleo de Pesquisas em Materiais Sustentáveis (Fazenda Modelo da UFMG), em Pedro Leopoldo (um dos 34 municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH). As duas últimas foram realizadas no Laboratório de Mecânica

dos Pavimentos e Materiais do CEFET/MG.

Com o intuito de reforçar e comprovar a potencialidade e a viabilidade da produção dos blocos localmente, todos os materiais utilizados foram adquiridos na RMBH. O solo foi extraído manualmente na Fazenda Modelo. Utilizou-se areia média lavada, comprada em Pedro Leopoldo. O RCD foi coletado na Estação de Reciclagem de Entulho da Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte (SLU/PBH), em granulometria equivalente à areia utilizada. O material aglomerante utilizado foi o Cimento Portland tipo IV-32 RS (CPIV-32), por ser o de maior disponibilidade na RMBH.

A literatura e as normas técnicas apontam o solo com perfil arenoso como ideal para a utilização nesse tipo de componente. Dessa forma, o solo utilizado foi caracterizado conforme os métodos de ensaio listados na Tabela 1, bem como os demais materiais utilizados, para melhor entendimento de suas propriedades. A caracterização granulométrica foi realizada para os três materiais, a fim de identificar a compatibilidade solo-agregados e o potencial de substituição da areia pelo RCD. Realizou-se, também, a

identificação do intervalo plástico do de água nas misturas. Os demais ensaios realizados com os agregados dizem respeito à densidade dos materiais, com o intuito de compreender posteriores resultados.

Após essa etapa, foram definidos os traços para a produção dos BTCs, tendo

solo, visando à adequada incorporação em vista a experimentação com diferentes dosagens de RCD. A incorporação do resíduo se deu através de teores elevados em substituição à areia, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 1: Métodos de caracterização.

Material	Solo	Areia	RCD
Métodos de caracterização	Granulometria (NBR 7181)	Granulometria (NBR 7217)	Granulometria (NBR 7217)
	Limite de Liquidez (NBR 6459)	Volumen de Vazios e Massa Unitária (NBR NM 45)	Volumen de Vazios e Massa Unitária (NBR NM 45)
	Limite de Plasticidade (NBR 7180)		
	Índice de Plasticidade (NBR 6457)	Massa Específica (NBR NM 52)	Massa Específica (NBR NM 52)

Tabela 2: Grupos de BTCs e seus respectivos traços (massa em %).

	R0	R60	R80	R100
Solo	45%	45%	45%	45%
Areia	45%	18%	9%	-
RCD	-	27%	36%	45%
CP IV	10%	10%	10%	10%

Todos os materiais secos foram mensurados em balança com resolução 10 g e homogeneizados em uma argamassadeira industrial com capacidade para 60 kg de mistura. O percentual de água utilizado variou em torno de 10% do total da massa seca, sendo sua dosagem definida de acordo

com análises tácteis-visuais da consistência e da textura do material.

Após a homogeneização, a mistura foi direcionada à prensa hidráulica (modelo PH4C 40x40 T da HIDRAL-Mac) para a produção dos BTCs. Para cada traço, foram produzidos 11 blocos, sendo oito destinados aos testes de resistência à compressão e três para a verificação do

índice de absorção, ambos segundo a NBR 10836 (ABNT, 2013).

As análises do comportamento mecânico dos BTCs (resistência à compressão axial simples e de absorção, aos 28 dias) foram realizadas no Laboratório de Mecânica dos Pavimentos e de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Esses ensaios foram realizados seguindo as indicações da NBR 10836

(ABNT, 2013), como apresentado na Figura 1.

Por conta da rigidez dos blocos, a fim de evitar perda de massa durante o processo de corte transversal, as análises de resistência à compressão foram feitas através da sobreposição de peças (mini prismas), diferente do indicado pela NBR 10836 (ABNT, 2013), porém mantendo-se as regras de proporção na área em contato com a prensa.

Figura 1: Ensaio de resistência à compressão (esq.) e absorção (dir.).



Fonte: Autores, 2017.

Figura 2: Mistura, moldagem e desmoldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autores, 2018.

Definido o melhor traço, com base nos valores obtidos e em comparação ao traço padrão (R0), foram moldados CPs cilíndricos para a determinação da durabilidade dos traços avaliados por meio de ciclos de molhagem e de

secagem, conforme a NBR 12024 (ABNT, 2012).

Pela dimensão dos CPs, os materiais secos foram pesados em balança com resolução 0,01 g e homogeneizados em um argamassadeira com capacidade

para 5,00 kg de mistura durante 30s em consistência seca e por mais 30s após adição de água (Figura 2).

Diferente do indicado pela NBR 12024 (ABNT, 2012), que sugere o uso de moldes metálicos de 100 mm x 127 mm, o molde utilizado para a produção dos CPs foi o mesmo recomendado pela NBR 7215 (ABNT, 1996) para a confecção de CPs de argamassa, com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura (Figura 2). Souza (2011) realizou estudos com o mesmo molde, enquanto Pinto (2016) propôs um novo equipamento nas mesmas dimensões. Ambos levantaram questionamentos acerca da quantidade de material seco consumido pelo molde previsto pela referida norma.

As peças foram untadas com óleo desmoldante e o material inserido por meio de um funil encaixado na parte superior do cilindro. A compactação foi dividida em três camadas com a mesma altura, tendo cada uma recebido 30 golpes através de um soquete simples. As duas primeiras camadas foram escarificadas com o auxílio de uma espátula metálica para melhor aderência das porções seguintes.

O desmolde dos CPs se deu no mesmo dia, uma hora após a finalização das moldagens. As peças repousaram numa caixa durante o processo de cura, que ocorreu durante o período de 28 dias em ambiente de laboratório, de acordo com os ensaios a serem realizados. Ao todo, foram produzidos 12 CPs em 2 diferentes grupos (R0 e R100).

Foi realizada uma moderada adaptação da NBR 13554 (ABNT, 2012) para melhor adequação do procedimento à rotina do laboratório, a fim de eliminar inconsistências metodológicas (Tabela 3). A estrutura do procedimento, aparentemente simples, vê-se incoerente, uma vez que “estabelece intervalos entre operações que resultam em horários inadequados para a realização de algumas etapas do ensaio, mesmo com um bom planejamento” (PINTO, 2016). Após os ciclos estendidos de molhagem e de secagem (adaptados) de 72 horas cada, foram determinadas as variações de umidade, o volume e a perda de massa dos CPs, conforme a NBR 13554 (Figura 3).

Para comparar os resultados obtidos por ambos os grupos nos ensaios realizados, utilizou-se como parâmetro a norma D2487 (ASTM, 2011) para a

classificação do solo. Após essa definição, os resultados mínimos determinados pela NBR 13554 foram comparados com os obtidos no estudo para a verificação do desempenho

alcançado pelos CPs com e sem incorporação de RCD, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica do material.

Tabela 3: Adaptação da NBR 13554 – Tempos de molhagem e de secagem.

	Molhagem	Secagem
Metodologia padrão – NBR 13554	5 horas	42 horas a 72º C
Metodologia adaptada pelos autores	24 horas	48 horas a 72º C

Figura 3: Execução do ensaio de durabilidade.



Fonte: Autores, 2018.

Resultados e Discussões

Os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais estão discriminados na Tabela 4 e a caracterização granulométrica do solo, do RCD e da areia, expressos na Figura 4.

Os ensaios de caracterização do solo dizem respeito à transição de estados físicos de acordo com o percentual de umidade. Dessa forma, o solo estudado torna-se plástico a partir de 22,54% acréscimo de água e líquido a partir de 30,28%. O Índice de Plasticidade (IP) é o intervalo no qual o material se apresenta no estado plástico, faixa na qual torna-se

necessário cautela a fim de se evitar perdas, uma vez que os BTCs são fabricados a partir de misturas úmidas, somente, e não plásticas.

Foi possível prever a partir dos ensaios de caracterização dos agregados que os BTCs fabricados com areia apresentariam maior densidade que os blocos com RCD (12,16%), devido ao perfil desses materiais segundo a massa específica e a massa unitária. A areia, sendo padronizada e mais uniformemente distribuída, dispõe de um menor índice de vazios, enquanto o RCD, sendo produto reciclado com composição diversa devido à variação

dos materiais processados, é susceptível à maior presença de poros. Essas características foram melhor observadas posteriormente com os resultados dos ensaios de absorção.

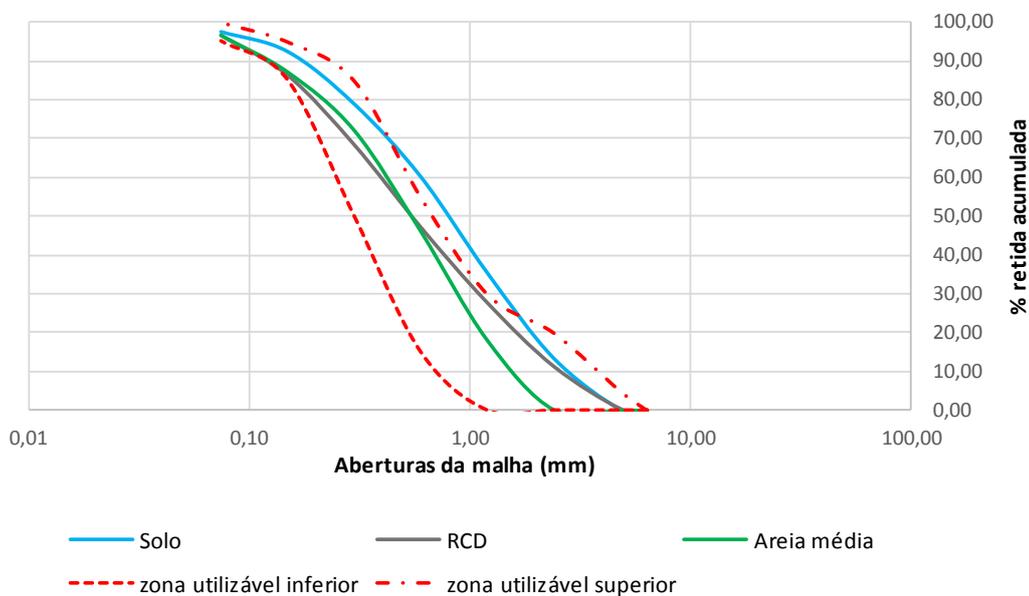
Em relação à dimensão das partículas dos materiais, tanto o solo quanto os agregados utilizados apresentaram

distribuição granulométrica compatível, fato que favoreceu a homogeneização das misturas para a produção dos blocos e, a posteriori, CPs. Pela Figura 4, observa-se, também, que todos os materiais se encontram conformados pelas zonas utilizáveis estabelecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2005).

Tabela 4: Resultados dos ensaios de caracterização.

Material	Solo	Areia	RCD
Métodos de caracterização	Limite de Liquidez (30,28%)	Volume de Vazios e Massa Unitária (0,11%; 1,39 g/cm ³)	Volume de Vazios e Massa Unitária (1,38%; 1,56 g/cm ³)
	Limite de Plasticidade (22,54%)	Massa Específica (2,49 g/cm ³)	Massa Específica (2,22 g/cm ³)
	Índice de Plasticidade (7,74%)		

Figura 4: Dispersão granulométrica dos materiais secos.



Fonte: Autores, 2018.

Na Tabela 5, são apresentados os resultados preliminares dos ensaios com os BTCs. Os valores do índice de absorção apresentam-se em torno de 16% acima dos valores de referência (R0) mas ainda assim dentro do previsto em norma ($< 20\%$). Para os ensaios de resistência à compressão axial, a presença simultânea de RCD e de areia em uma mesma mistura, presente nos traços R60 e R80, apresentaram valores satisfatórios. Entretanto, os blocos se mostraram mais densos e com melhor desempenho mecânico quando confeccionados com somente um tipo de agregado.

Observa-se, que todos os traços propostos conseguiram se enquadrar nos parâmetros estabelecidos pela NBR 10836 (ABNT, 2013), sendo os melhores resultados dos blocos com resíduo (R100). Dessa maneira, esse foi o traço

utilizado para a produção de CPs para as análises de durabilidade.

Com base nas diretrizes estabelecidas pela D2487 (ASTM, 2011), o solo utilizado foi classificado como A-2-4, pois: LL 40% (máximo), IP 10% (máximo), material passante na peneira de #75 μ m no valor de 30% (máximo). Para essa classificação, a perda de massa após o sexto ciclo de molhagem-secagem não deveria ser superior a 14%.

Não obstante, os CPs produzidos não obtiveram resultados compatíveis com os valores mínimos para perda de massa e variação de volume definidos pela norma. Tanto os CPs do grupo R0 quanto do grupo R100 não conseguiram passar pelos ciclos de molhagem e secagem sem perderem massa acima do valor estipulado (14%) já no primeiro ensaio dos seis ciclos (Figura 5).

Tabela 5: Parâmetros e resultados obtidos – BTC.

Ensaio realizado	Parâmetros NBR 10836	Grupo 1 (R0)	Grupo 2 (R60)	Grupo 3 (R80)	Grupo 4 (R100)
Absorção (%)	$\leq 20,00$	12,45	14,44	14,31	14,23
Desvio padrão	-	0,18	0,25	0,33	0,62
CV (%)	-	1,46	1,72	2,28	4,36
Compressão axial (MPa)	$\geq 2,00$ MPa	4,20	3,12	3,16	3,68
Desvio padrão	-	0,47	0,25	0,14	0,16
CV (%)	-	11,39	7,98	4,43	4,31

Figura 5: Aspecto visual dos CPs após 1° ciclo de molhagem-secagem.



Fonte: Autores, 2018.

Esperava-se que essa instabilidade fosse devido à menor densidade e diversidade na composição do RCD, o que faria com que somente o grupo R100 apresentasse durabilidade não apropriada. Todavia, é importante apontar que o grupo R0 apresentou comportamento semelhante. Sendo o CPIV-32 RS um cimento pozolânico com baixo calor de hidratação que pode conter até 50% de polozana em sua composição (NBR 5736 e NBR 5737), os resultados obtidos também dizem respeito a sua compatibilidade com o solo.

Os BTCs produzidos com CPIV-32 RS, apesar de terem alcançado valores de resistência à compressão compatíveis com o esperado para a produção de alvenarias de vedação, precisam de uma camada de revestimento impermeável se forem expostos ao intemperismo. Caso sejam utilizados em vedações externas, deve-se considerar a apropriada

impermeabilização das fundações, tal qual muitos outros componentes.

Conclusões

Após as análises realizadas, pode-se concluir que:

- No que diz respeito às propriedades mecânicas e à absorção, o material proposto obteve valores compatíveis com as normas técnicas brasileiras. Todavia, verifica-se que a matriz formada (solo-cimento) não conseguiu manter estabilidade suficiente à abrasão quando exposta à alta variação de umidade e temperatura, acarretando elevada perda de massa;
- O componente está apto a ser utilizado, desde que não incumbido de função estrutural e devidamente protegido por revestimento impermeável ou material similar;
- Foi comprovada a viabilidade do uso do RCD, além de assegurada sua

compatibilidade com o solo na produção de BTCs.

Bibliografía

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1991). **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro.

_____. (1992). **NBR 5737**: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro.

_____. (2016). **NBR 6459**: Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.

_____. (2016). **NBR 7180**: Solo - determinação de limite de plasticidade. Rio de Janeiro.

_____. (1984). **NBR 7181**: Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro.

_____. (2005). **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro.

_____. (1996). **NBR 7215**: Cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro.

_____. (1987). **NBR 7217**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.

_____. (2013). **NBR 10836**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural –

determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro.

_____. (2012). **NBR 12024**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

_____. (2012). **NBR 13554**: Solo-cimento - ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro.

_____. (2006). **NBR NM45**: Agregados - determinação de massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro.

_____. (2003). **NBR NM52**: Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro.

ABRELPE. Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública E Resíduos Especiais. (2016). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2016**. São Paulo.

ASMT. American Society for Testing and Materials. (2011). **ASTM D2487**: Unified soil classification system.

Barbieri, J. C., Vasconcelos, I. F. G., Andreassi, T. & Vasconcelos, F. C. DE. (2010). Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. In

Revista de Administração de Empresas – ERA, 50 (2), 146-154.

Baptista Junior, J. V., Romanel, C. (2013). Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 5, n. 2, p. 27-37.

Brasileiro, L. L.; Matos, J. M. E. (2015). **Revisão Bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** *Cerâmica*, nº 61, p. 178 – p. 189). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>>.

Buson M. A. (2009). **KRAFTTERRA: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical.** Tese (Doutorado em Arquitetura). FAU/UnB. Brasília.

CBIC. Câmara Brasileira Da Indústria Da Construção. (2018). **PIB Brasil e Construção Civil: IBGE, 2017.** Belo Horizonte. Disponível em: <[\[e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil\]\(#\)>.](http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-</p></div><div data-bbox=)

Gomes, P. C. C., Alencar, T. F. F., Silva, N. V., Moraes, K. A. M., Ângulo, S. C. (2015). Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. In **Ambiente Construído**, 15, pg. 31-46.

Gutierrez, R. S. R., Izaguirre, V. M. G., Mujica, J. A. E. (2014). **Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental.** Nova Scientia, Universidad de la Salle Bajío.

Jiménez, Y. G. A., Izaguirre, V. M. G. (2016). Efectos de utilización de savias vegetales em bloques de tierra comprimida a la prueba de abrasión. **LEGADO de Arquitectura y Diseño**, 19, pg. 101-110.

Lima, S. A.; Varum, H.; Sales, A.; Neto, V. F. (2012). Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. In **Construction and Building Materials**, v. 35 p. 829-837.

Melo, A. B., Barbosa, N. P., Lima, M. R. F., Silva, E. P. (2011). Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada. In **Ambiente Construído**. Porto Alegre.

Minke, G. (2015). **Manual de construcción con terra: una arquitectura sustentável**. São Paulo: B4 Editores.

Morel J, Pkla A, Walker P. (2007). Compressive strength testing of compressed earth blocks. In **Construction and Building Materials**, v. 21, p. 303–9.

Piattoni, Q., Quagliarini, Q., Lenci, S. (2011). Experimental analysis and modelling of the mechanical behavior of earthen bricks. In **Construction and Building Materials**, 25, p. 2067-2075.

Moura, A., Sá, M. V. V. A. (2013). Influência da racionalização e industrialização na construção sustentável. In **Tecnologia e Informação**. Petrópolis/RN.

PBH. Prefeitura Municipal De Belo Horizonte. (2018). **Superintendência de Limpeza Urbana - Estatísticas, 2018**. Belo Horizonte. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/estatisticas>>.

Pinto E. S. (2016). **Solo-cimento compactado: proposta de métodos de**

ensaio para dosagem e caracterização física e mecânica. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). FAAC/UNESP. São Paulo, São Paulo.

Santos, A. G; Teixeira, R. W; Mello, E. A; Teixeira, J. (2015). Avaliação do custo de construção de uma estrutura de pavimento empregando agregado reciclado de RCD. In **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 10, pg. 1-13.

Souza F. A. (2011). **Estudo da durabilidade de blocos de solo-cimento com a incorporação de casca de arroz**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). CCT/UFCG. Campina Grande, Paraíba.

Agradecimento

À SLU/PBH, pela disponibilização do RCD durante todo o período de investigação; ao Departamento de Engenharia de Transportes do CEFET/MG, pelo laboratório cedido para a execução das análises mecânicas e de durabilidade.

Financiamento

PRPq - bolsa de iniciação científica.