

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL PELO RESÍDUO DA CERÂMICA VERMELHA EM BLOCOS ESTRUTURAIS

Márcia de Lacerda Santos
(marcialacerdapb@gmail.com)
Saul Barbosa Guedes
(saulbguedes@yahoo.com.br)

Resumo

Instrumento do desenvolvimento econômico e social, a construção civil é caracterizada pela utilização de recursos naturais e pelo alto índice de produção de resíduos, gerando consideráveis impactos ao meio ambiente. Buscando minimizar os impactos, o setor tem agregado valores e práticas construtivas como meios de adequar-se às exigências estabelecidas pela legislação vigente. Uma ferramenta viável quando se refere à gestão de resíduos é a reciclagem – processo que consiste na transformação do material antes de reaproveitá-lo. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento mecânico do concreto produzido com Resíduo da Cerâmica Vermelha (RCV) para a utilização em blocos estruturais. Dosou-se o concreto de referência de acordo com o método IPT/EPUSP, levando em consideração a norma brasileira ABNT 6136:2014, que estabelece a resistência característica mínima à compressão para blocos com funções estrutural tipo B entre 04 e 08MPa e absorção de água inferior a 13%. A análise dos resultados obtidos permitiu observar uma redução nos valores de resistência à compressão e um acréscimo da capacidade de absorção de água do concreto como aumento da fração de resíduo. Contudo, apenas o traço de 10% apresentou resistência à compressão e absorção dentro dos limites exigíveis para a classe que se enquadra, tornando-se adequado para a produção de blocos com função estrutural. Portanto, o concreto fabricado a partir de RCV torna-se viável para a produção dos blocos, representando uma alternativa sustentável para a gestão dos resíduos.

Palavras-chave: Blocos Estruturais. Concreto. Resíduo da Cerâmica Vermelha.

1. Introdução

O setor da construção civil é o principal responsável por grande parte do desenvolvimento econômico e social do país, conforme dados do último Informe Setorial Cerâmica Vermelha publicado em 2010 pelo Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste-ETENE vinculado ao Banco do Nordeste S.A., em 2008 operavam de modo efetivo no Brasil cerca de 5.500 empresas de cerâmica vermelha, sendo que atualmente, estima-se que esse número tenha triplicado.

Em contrapartida, conforme o Panorama dos resíduos Sólidos no Brasil publicada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais-ABRELPE, em 2016, o Brasil era o quinto maior produtor de lixo urbano no *ranking* mundial, e sendo o maior responsável o setor da construção civil gerava cerca de 122.262 toneladas de resíduos por dia. Silva (2017) afirma que na composição do resíduo da construção civil, somando-se

percentual dos resquícios de materiais cerâmicos, argamassa e concreto contabilizam cerca de 51% a 70% dos resíduos sólidos urbanostotais.

Nesse contexto, eis que surge a preocupação de reutilizar esses resíduos e de reincorporá-los no ciclo da construção civil. Desse modo, a produção de blocos estruturais – utilizando os insumos de olarias – de forma a aliar os benefícios ambientais e econômicos, torna-se uma estratégia sustentável, que poderá permitir não apenas racionamento dos recursos econômicos, mas também dos recursos naturais que estão cada vez mais escassos. Com o uso cada vez mais disseminado, o bloco estrutural se apresenta como uma ferramenta que tende a resistir a esforços solicitantes na estrutura, como a compressão (NASCIMENTO JUNIOR, 2011).

Assim, essa pesquisa objetiva analisar o desempenho mecânico do concreto através da compressão simples e absorção de água com a substituição da areia, agregado esse cada vez mais escasso, pelo resíduo da cerâmica vermelha nas porcentagens de 5%, 10%, 20% e 40%, desde que atenda às normas técnicas brasileiras vigentes para a execução de blocos com função estrutural pertencente a classe B. Todos os ensaios serão realizados no laboratório de Resíduos Sólidos do Curso de Engenharia Ambiental, localizado na Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campus Pombal-PB.

Nos itens a seguir serão abordados em ordem sequencial, de forma a proporcionar uma melhor compreensão da problemática e sua solução, tendo a reutilização do resíduo da cerâmica vermelha como cerne da questão, enquanto a ser combinado com o agregado miúdo e utilizado na fabricação de blocos estruturais. O referente trabalho encontra-se organizado em tópicos estruturados da seguinte maneira: Desenvolvimento, com os subitens Resíduo da Cerâmica Vermelha e Blocos Estruturais, item Considerações finais com os subitens Dosagem dos Corpos de Prova Cilíndricos, Resistência à Compressão e Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica e por último o item referências.

2. Desenvolvimento

Para Rocha (2003), a gestão dos resíduos desde a produção até o pós-consumo torna-se uma alternativa imprescindível para o arremate do ciclo de produção, mediante a criação de novos produtos provenientes da reciclagem dos resíduos. Sendo assim, o gerenciamento e reaproveitamento dos resíduos da indústria da construção civil, em especial o da cerâmica vermelha, possui extrema relevância enquanto formas de evitar a degradação ambiental e os danos à saúde pública.

2.1 Resíduo da Cerâmica Vermelha

Conforme a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos Resíduos da Construção Civil no Brasil, resíduo da construção civil são materiais proveniente dessa atividade e que são classificados em A: Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados; B: Resíduos recicláveis para outras destinações; C: Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação e D: Resíduos perigosos. Também são classificados conforme seu risco ao meio ambiente e à saúde pública, como pode ser analisado no quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos Resíduos Sólidos

Classe		Definição
Perigosos	I	Aqueles que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, ou ainda de fontes não específicas. Mas, que causam riscos à saúde e ao meio ambiente.
Não perigosos	A	Não Inertes: aqueles que não se enquadram na Classe I. Ainda, podem apresentar propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
	B	Inertes: quaisquer resíduos que quando submetido ao contato com água, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, executando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: NBR 10004, 2004

Dessa forma, pode-se depreender que os resíduos gerados pela construção civil encaixam-se na Classe II – B, ou seja, são considerados inertes de acordo com NBR10004/2004 e, ainda, segundo a Resolução CONAMA nº 307 de 2002, os resíduos da cerâmica vermelha são tidos com agregados reutilizáveis ou recicláveis como agregado e pertencente a classe A e tidos com materiais inertes.

2.2 Blocos Estruturais

A alvenaria estrutural é uma técnica bastante antiga, que é empregada desde as primeiras construções, tais como pirâmides e catedrais. A princípio eram utilizadas unidades de baixa resistência e métodos empíricos de cálculo e execução, o que resultava em estruturas bem mais robustas do que as atuais (SILVA, 2016).

Com o transcorrer do tempo, as técnicas construtivas foram sendo aprimoradas, surgiu o emprego de materiais de maior resistência e assim os blocos de concreto passaram a serem empregados em fechamento de vãos ou na sustentação da construção. Logo esse elemento estrutural apresenta-se como uma solução que otimiza e proporciona redução de custos nas construções, pois são elementos vibroprensados e constituídos de uma mistura de cimento Portland, agregados e água, além de dispensar o emprego de pilares ou vigas (SANDES, 2008).

A característica que difere a aplicação desse elemento é a resistência a compressão axial que deve atingir, contudo fisicamente e o procedimento de produção permanecem constante. Dessa forma a ABNT NBR 6136/2014: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos, classifica os blocos de concreto em três classes com e sem função estrutural e que podem ser utilizados até abaixo do nível do solo (classe A), conforme pode-se analisar na tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos para Resistência Característica à Compressão, Absorção e Retração

Classificação	Classe	Resistência Característica à Compressão Axial (Mpa)	Absorção (%)				Retração (%) *facultativo
			Agregado Normal		Agregado Leve		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com Função Estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$			
	B	$4 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
Com ou sem Função Estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$			

Fonte: ABNT NBR 6136:2014.

Para o traço de referência foi empregue o método IPT/EPUSP visando definir a estrutura da mistura. Fixou-se a resistência almejada para os blocos em 4,5 Mpa, e assim calcula-se a resistência necessária dos corpos de prova cilíndricos através da Equação 1.

$$R_{cp} = \frac{R_{bloco} \times k \times A_{bruta}}{A_{liq}} \quad \text{Equação 1}$$

Em que R_{cp} é a resistência à compressão do corpo de prova, R_{bloco} é a resistência à compressão, K é o coeficiente de adequação devido a diferença geométrica entre o bloco e o CP, admitido como 0,9, A_{liq} e A_{bruta} são a área líquida e bruta, respectivamente, do bloco em cm^2 . Dessa forma, a resistência a compressão axial do bloco tida como adequada é de 7 Mpa para cada corpo de prova.

Nesta optica, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios da produção dos concretos e, em seguida os resultados obtidos resistência a compressão axial e absorção de água, objetivando avaliar a influência do resíduo da cerâmica vermelha nos concretos com substituição parcial do agregado miúdo.

3. Metodologia

3.1 Dosagem dos Corpos de Prova Cilíndricos

Conforme as recomendações ABNT NBR 5738/2015: Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova, procedeu-se a moldagem dos traços expressos na tabela 2:

Tabela 2 – Traço Adotado para o Concreto de Referência

Traços	Cimento	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	a/c	Resistencia à Compressão
T1	1	4,2	1,8	0,48	11,8
T2	1	5,6	2,4	0,5	7,5
T3	1	7	3	0,49	5,7

Fonte: Autor, 2019.

O traço T1 foi o único que apresentou resistência acima da mínima de 7 Mpa ideal para produção de blocos com função estrutural de 4,5 MPa, de acordo com a NBR 6136

(2016). Em uso do referido traço moldou-se 22 corpos de prova cilíndricos ($\phi = 10$ cm e $h = 20$ cm).

3.2 Resistência à Compressão

Para cada teor de 5%, 10%, 20%, e 40% de substituição do agregado natural pelo reciclado moldou-se 2 corpos de prova para a análise da resistência a compressão axial e 2 para o ensaio de absorção, essa quantidade de CP's para cada teor justificou-se devido à dificuldade de trituração do resíduo, que se deu de maneira manual. Enquanto que os corpos de prova de referência moldaram-se 3 para cada ensaio, conforme recomenda a ABNT NBR 5739:2018 - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos.

4. Resultados e Discursões

Para a determinação da porcentagem de brita e areia realizou-se o empacotamento para verificar quais teores de cada material proporciona um menor índice de vazios. Assim encontrou-se uma proporção de 70% de areia e 30% de brita.

Na tabela 3 pode-se observar os resultados obtidos de resistência à compressão.

Tabela 3 – Resultados da Determinação da Resistência à Compressão dos Corpos de Prova Cilíndricos

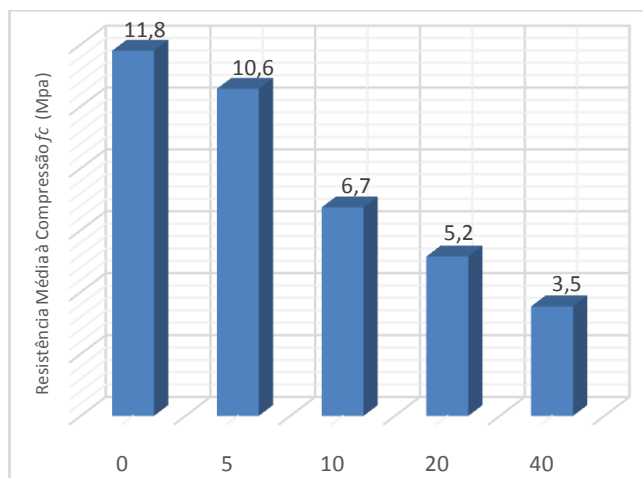
Traço	Redução da Resistência em Relação ao CR (%)
REF	-
5	4,8
10	10,4
20	30,0
40	68,1

Fonte: Autor, 2019.

A maior expressividade na redução da resistência se dá no traço com substituição de 40% da areia por resíduo da construção civil, onde houve uma queda de 68,1%. O aumento da fração de resíduo proporcionou uma redução diretamente proporcional ao teor de resíduo que se incorporava na mistura. Estatisticamente, tem-se que a dispersão dos resultados deve-se as operações de ensaio e ao coeficiente de variação (CV_e) que foi $\leq 3,0$, sendo classificado pela ABNT 5739:2018 como Nível 1 (Excelente), tornando a avaliação do resultado satisfatória.

O gráfico 1, a seguir, demonstra o comportamento mecânico do ensaio de resistência à compressão em forma de barras, como forma de facilitar a visualização do comportamento mecânico dos corpos de prova cilíndricos ao serem submetidos à compressão axial.

Gráfico 1 – Resultados da Resistência à Compressão Axial Média dos Corpos de Prova



Fonte: Autor, 2019.

Todas as misturas apresentaram tendência de redução da resistência em relação ao concreto de referência inversamente proporcional a elevação da fração de RCV em substituição a areia. Esse comportamento, pode ser justificado devido a menor resistência do agregado reciclado, conferindo menor adesão a mistura devido a sua menor superfície de contato, dessa forma, apresentando maior fragilidade quando comparado ao agregado natural.

Ainda com relação a redução das resistências em razão da substituição, o traço com maior fração de resíduo atingiu resistência à compressão de 3,5 MPa, ou seja, ainda pode ser utilizado pois enquadra-se na faixa C de classificação para blocos estruturais ou não, conforme especifica a ABNT NBR 6136:2014 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos. Enquanto que para o teor de 5% de substituição se enquadra na classe A, que são blocos que podem ser utilizados abaixo do nível do solo. Assim, os teores de 10% e 20% condisseram com o objetivo da pesquisa, que são blocos pertencente a classe B e com resistência entre 04 e 08 Mpa.

4.1 Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica

A tabela 4 expõe os resultados do ensaio de absorção conforme a ABNT NBR 9778:2009.

Tabela 4 – Resultados da Determinação da Absorção e Índice de Vazios dos Corpos de Prova

Traço	Corpo de Prova	Massa do Corpo de Prova Seco em Estufa - M_S (g)	Massa do Corpo de Prova na Condição Saturado Superfície Seca - M_{SAT} (g)	Massa do Corpo de Prova Submerso em Água - M_A (g)	Absorção - A (%)		Índice de Vazios - IV (%)		Massa Específica Seca (g/cm^3)	
					Ind.	Média	Ind.	Média	Ind.	Média
0%	1	3115	3319	2030	6,55		15,83		2,42	
	2	3098	3293	2030	6,29	6,42	15,44	15,64	2,45	2,44
	3	3087	3285	2020	6,41		15,65		2,44	
5%	1	3090	3494	1840	13,07		24,43		1,87	
	2	3108	3472	1800	11,71	12,39	21,77	23,10	1,86	1,86

10%	1	3246	3466	1710	6,78	7,05	12,53	12,98	1,85	1,84
	2	3220	3456	1700	7,33		13,44		1,83	
20%	1	3024	3318	1760	9,72	10,09	18,87	19,60	1,94	1,94
	2	3000	3314	1770	10,47		20,34		1,94	
40%	1	2742	3152	1580	14,95	12,97	26,08	22,66	1,74	1,75
	2	2784	3090	1500	10,99		19,25		1,75	

Fonte: Autor, 2019.

É notório que há uma relação direta entre a absorção e o índice de vazios, uma vez que quanto maior o índice de vazios, maior a capacidade de absorção dos corpos de prova. A composição com 10% de substituição apresenta diminuição da absorção e do índice de vazios possivelmente se deve a quantidade de grãos de dimensões menores que preenchem os espaços vazios entre os grãos maiores, fazendo com que o índice de vazios diminuía e, consequentemente reduza a absorção dos corpos de prova.

Observou-se que as massas específicas secas dos corpos de prova variaram entre 1940 e 1860 kg/m³. Assim sendo, conforme a classificação da ABNT NBR 8953:2015, o concreto utilizado é considerado concreto leve (CL), uma vez que apresenta massa específica menor que 2000 kg/m³.

5. Considerações Finais

A partir da análise dos dados provenientes dos ensaios realizados no concreto de referência e no concreto com teores de substituição da areia pelo resíduo em 5%, 10%, 20%, e 40% podem-se obter as resistências e a absorção esperada, sendo consideradas adequadas para a fabricação de blocos estruturais.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial apontaram uma esperada redução de resistência à medida que aumentou a fração de resíduo incorporado, dado que o mesmo confere uma menor coesão na mistura. Todavia, os resultados para resistência continuaram dentro dos padrões recomendados pela a NBR 6136/2016: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos.

Quanto à absorção, os ensaios apresentaram um crescimento na capacidade de absorção ao passo que o resíduo foi aumentado, similarmente ao que aconteceu com os resultados obtidos para resistência à compressão. Contudo, os resultados apenas o teor de 10% de substituição que obteve 7,05% de absorção que se enquadrou no objetivo da pesquisa.

Desta forma, tem-se para esse percentual de 10% de incorporação de resíduos da cerâmica vermelha, o concreto apresentou desempenho suficiente para ser utilizado na fabricação de blocos estruturais tipo B com os padrões de qualidade exigidos.

Diante do exposto, considera-se viável a produção de concreto com resíduo da cerâmica vermelha com agregado miúdo reciclado para a produção de blocos estruturais, representando uma alternativa sustentável para reutilização desses resíduos.

Referências

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos.

Rio de Janeiro, 2018.

_____**NBR 6136:** Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____**NBR 9778:** Argamassa e Concretos Endurecidos – Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____**NBR 8953:** Concreto para Fins Estruturais – Classificação pela Massa Específica, por Grupos de Resistência e Consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ABRELPE. **Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.** Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2016.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente.** Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece Diretrizes, Critérios e Procedimentos para a Gestão dos Resíduos da Construção Civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2002.

ETENE. **Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste.** Banco do Nordeste S.A. 2008.

NASCIMENTO JR, A. **Avaliação da resistência à compressão de concreto utilizando adição de resíduos de cerâmica vermelha.** Monografia apresentada ao Colegiado de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, 2011.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional.** ANTAC. Porto Alegre, 2003.

SANDES, V. S. **Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto em fábricas de Feira de Santana.** Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, 2008.

SILVA, J. B. et al. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto estrutural dosados com politereftalato de etileno (PET) micronizado.** Campina Grande: 2016.

SILVA, W. C.; SANTOS, G. O.; ARAÚJO, W. E. L. **Resíduos Sólidos de Construção Civil: Caracterização, Alternativas de Reuso e Retorno Econômico.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 2017.