

CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR VIDRO SODO-CÁLCICO MOÍDO*

Murilo Elias Rosa do Carmo¹
Fernando Antonio da Silva Fernandes²
Shara Carvalho Lopes³
Karla Cristina Bentes Moreira⁴
Renato Baiochi Alves Veronese⁵

Resumo

A preocupação com a preservação do meio ambiente é cada vez maior. Atualmente as pesquisas são voltadas para produção de materiais que possam contribuir para redução de impactos ambientais, sendo estes produzidos através da reciclagem. A indústria da construção produz uma grande quantidade de resíduos que são descartados em aterros sanitários de forma indiscriminada. Este estudo avaliou a reutilização do vidro sodo-cálcico oriundo do descarte em substituição parcial do cimento *Portland*. O vidro sodo-cálcico foi proveniente de embalagens de bebidas, que foram: lavadas, secas e moídas à granulometria menor que 75 μm . Foram constituídos corpos de prova com vidro sodo-cálcico em substituição ao cimento *Portland* na proporção de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% em massa. Sua homogeneização foi feita em uma betoneira de 150 litros. Ao final, os corpos de provas moldados foram submetidos à cura úmida submersa. O resultado da resistência à compressão uniaxial foi obtido aos 03, 07, 14, 21 e 28 dias. Os resultados mostram que o vidro sodo-cálcico pode ser utilizado como substituto parcial do cimento *Portland* com teor de 10%, em concretos com valor de resistência à compressão uniaxial superior a 25 MPa aos vinte e oito dias.

Palavras-chave: Cimento Portland; Vidro sodo-cálcico; Substituição parcial

CHARACTERIZATION OF UNIAXIAL COMPRESSION RESISTANCE OF CONCRETE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF PORTLAND CEMENT BY SODA-LIMEGLASS GROUND

Abstract

The concern with the preservation of the environment is increasing. Research is currently focused on the production of materials that can contribute to the reduction of environmental impacts, which are produced through recycling. The construction industry produces a large amount of waste that is disposed of in landfills indiscriminately. This study evaluated the reuse of the soda-lime glass from the disposal in partial replacement of the Portland cement. The soda-lime glass came from beverage packages, which were: washed, dried and milled to a particle size of less than 75 μm . Samples were made with soda-lime glass replacing Portland cement in the proportion of 0%, 10%, 20%, 30% and 40% by mass. Its homogenization was done in a concrete mixer of 150 liters. At the end, the molded test bodies were subjected to submerged wet curing. The result of the uniaxial compression strength was obtained at 03, 07, 14, 21 and 28 days. The results show that soda-lime glass can be used as a partial substitute for Portland cement in 10% content in concrete with a value of uniaxial compressive strength higher than 25 MPa at twenty-eight days.

Keywords: Portland cement; Soda-lime glass; Partial replacement

- ¹ *Engenheiro civil, Universidade Federal do Tocantins – UFT, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Quadra 109-Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14, Plano Diretor Norte, Palmas, TO, 77001-090, Brasil.*
- ² *Engenheiro civil, Faculdade Católica do Tocantins, Centro Superior Politécnico, Quadra 1402-Sul, Avenida Teotônio Segurado, ACSU-SE 140, Lote 01, Centro, Palmas, TO, 77061-002, Brasil.*
- ³ *Engenheira civil, Universidade Federal do Tocantins – UFT, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Quadra 109-Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14, Plano Diretor Norte, Palmas, TO, 77001-090, Brasil.*
- ⁴ *Engenheira civil, Universidade Federal do Tocantins – UFT, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Quadra 109-Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14, Plano Diretor Norte, Palmas, TO, 77001-090, Brasil.*
- ⁵ *Engenheiro civil, Universidade Federal do Tocantins – UFT, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Quadra 109-Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14, Plano Diretor Norte, Palmas, TO, 77001-090, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O concreto ocupa a segunda colocação no *ranking* dos produtos mais consumidos no mundo, atrás somente da água. O cimento *Portland* é o principal componente do concreto. Suas características mecânicas quando endurecido lhe conferem qualidades únicas, tornando-o um material presente na maioria das etapas de uma obra.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC, o consumo de cimento *Portland* no Brasil quase dobrou entre os anos de 2004 e 2013, conforme Tabela 1 [1].

Tabela 1. Consumo anual de cimento *Portland*

Ano	Consumo de cimento <i>Portland</i> (em toneladas)
2004	35.660.175
2005	37.581.698
2006	40.938.315
2007	44.984.102
2008	51.488.180
2009	51.669.850
2010	60.007.980
2011	64.971.753
2012	69.323.633
2013	70.974.211

Um fator alarmante sobre este crescimento não apenas no Brasil, mas em todo o mundo, é que a produção de cimento é uma ação poluidora, que contribui para o efeito estufa. A produção mundial de cimento contabiliza 6% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono (CO₂). Cerca de 50% desta porcentagem provém da conversão química de calcário (CaCO₃) em óxido de cálcio (CaO); 40% derivam da combustão de combustíveis fósseis durante as operações de produção; e 10% são resultado das emissões referentes a eletricidade consumida para produção e transporte das matérias-primas [2].

Diante destas questões, têm-se pesquisado e estudado alternativas para a produção de um concreto menos poluidor, aliado à utilização de produtos reciclados ou reutilizados. Neste conceito, o vidro sodo-cálcico entra como um possível substituto do cimento, uma vez que, a produção anual média de vidro no Brasil é de 980 mil toneladas, sendo que o índice de reciclagem deste material é de aproximadamente 47% [3]. Visto que o índice de reciclagem ainda é baixo comparado com a taxa de fabricação, observa-se a necessidade de uma nova finalidade para o mesmo. O mercado da construção civil está sempre em busca de novos materiais, e este trabalho tem como proposta viabilizar a confecção de concreto com substituição parcial do cimento *Portland* por vidro sodo-cálcico moído a fim de minimizar o custo das obras civis, visto que será utilizado um produto que se encontra descartado erroneamente em aterros sanitários, e contribuir para a preservação do meio ambiente.

O vidro moído em uma faixa muito fina apresenta excelente poder de preenchimento de vazios e, possui propriedades pozolânicas que lhe permite a substituição parcial

do cimento na constituição do concreto [4]. Todas as partículas de vidro moído inferiores à 100µm conferem ao concreto uma durabilidade maior [5]. Quanto menor for o tamanho da partícula de vidro sodo-cálcico moído, maior será a resistência do concreto, sendo que partículas menores que 90µm apresentaram os melhores resultados [6].

O cisalhamento puro não é encontrado em estruturas de concreto, mas pode atuar em conjunto com as tensões de compressão e tração [7]. Uma propriedade largamente estudada por pesquisadores é a resistência à compressão, visto que, está relacionada (direta ou indiretamente) com outras propriedades do concreto endurecido, principalmente àquelas ligadas a durabilidade [7]. A substituição do cimento em 10% por vidro moído aumenta a resistência à compressão significativamente [8]. Esta substituição em proporções de 20%, 30% e 40% aumentam a resistência à compressão do concreto em 19,6%, 25,3%, 33,7%, respectivamente [4], sendo que, a substituição de 40% em massa de cimento por vidro moído confere ao concreto uma resistência à ruptura 4,4% maior quando comparado ao concreto sem substituição.

Após 28 dias, os concretos com substituição de vidro moído em proporções de 5%, 10% e 15% obtiveram um aumento na resistência à flexão, respectivamente, de 5,88%, 30% e 44,85%, quando comparados com o concreto sem substituição de cimento com a mesma idade [9]. Já para substituições de 20%, 30% e 40% alcançou-se um aumento de resistência em valores de 83,07%, 99,07% e 100%, respectivamente [4].

Concretos com vidro em sua composição como aglomerante parcial possuem um índice de absorção de água por imersão muito similar ao concreto com um traço sem adição de vidro [10]. O vidro moído pode ser utilizado como substituto parcial do cimento, ocasionando uma diminuição nos vazios do concreto, garantindo uma diminuição significativa no índice de absorção de água [11-12].

2 MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O traço adotado para confecção do concreto foi 1:2:3, com um fator água/cimento de 0,6. O traço foi calculado para a resistência à compressão uniaxial de 25 MPa aos 28 dias, sendo que para cada traço foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100mm x 200mm, rompidos aos 03, 07, 14, 21 e 28 dias. 04 teores diferentes de substituição parcial foram estabelecidos, além de um traço referencial sem substituição, que foram nomeados conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Nomenclatura dos corpos de prova conforme o teor de substituição

Nomenclatura dos corpos de prova	Teor de substituição (em massa)
TS-0	0%
TS-10	10%
TS-20	20%
TS-30	30%
TS-40	40%

A areia e a pedra britada foram utilizadas como agregados miúdo e graúdo, respectivamente. A preparação para utilização dos agregados teve início com a lavagem do material, utilizando a peneira de nº 200, para descartar os possíveis

materiais pulverulentos e pedregulhos presentes, assim como matéria orgânica (folhas e galhos). Em seguida, foi seco na estufa por um período de 24 horas, à temperatura de 105° ~ 110° C e, resfriado a temperatura ambiente para que não houvesse influência da umidade natural nos resultados.

Foi utilizado o Cimento *Portland* CP-II-F-40, disponível comercialmente na cidade de Palmas - TO. Este material atende as exigências da NBR 11578-91 (ABNT), com relação a quantidade de teores dos componentes presentes e exigências físicas e químicas [13]. O vidro sodo-cálcico utilizado foi proveniente de garrafas de bebidas, que tiveram os bicos plásticos e os rótulos retirado e foram: higienizadas com água potável e sabão neutro, secas, quebradas, trituradas com auxílio do moinho de bolas e, finalizou com o peneiramento até que se atingisse a granulometria de 75 µm, conforme a Figura 1.

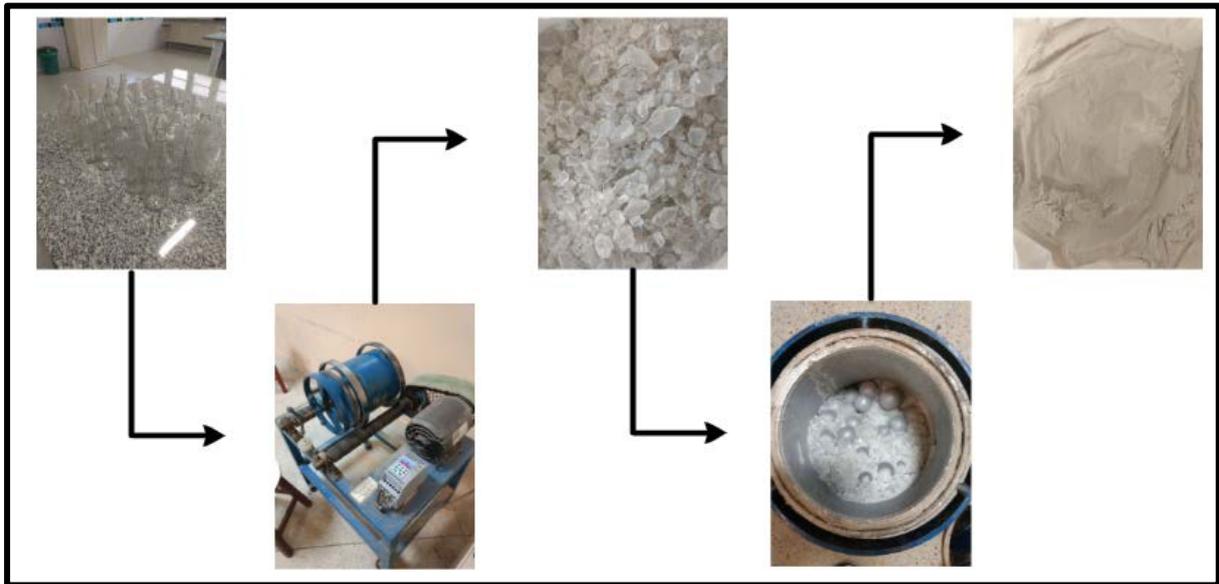


Figura 1. Fluxograma de moagem do vidro sodo-cálcico.

A composição dos teores de óxidos presentes no vidro sodo-cálcico foi analisada e compara com a do cimento *Portland*, segundo especificações da ASTM C-150 [14]. Como o vidro sodo-cálcico moído foi utilizado como substância aglomerante, o mesmo foi misturado manualmente ao cimento *Portland* logo após sua pesagem, de modo a garantir sua melhor homogeneização, apresentada na Figura 2.

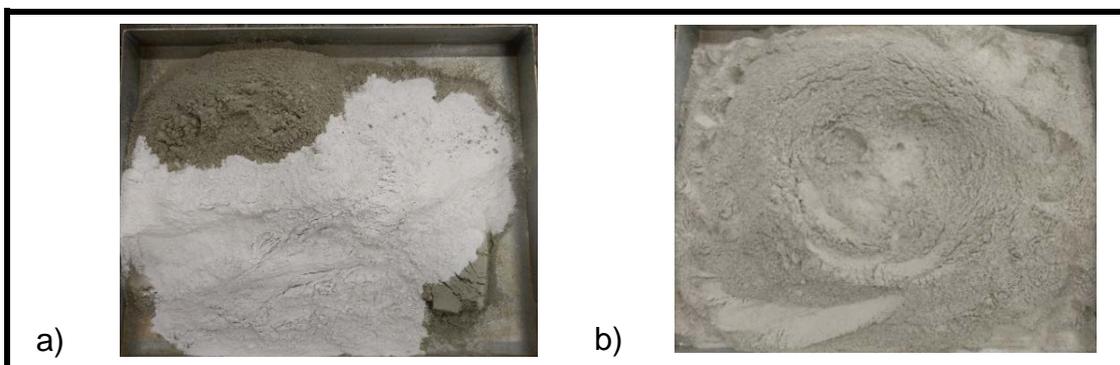


Figura 2. Homogeneização do cimento *Portland* e o vidro sodo-cálcico moído: a) início do processo de homogeneização, b) mistura homogênea.

Os componentes do concreto foram homogeneizados em uma betoneira de 150 litros, garantindo que tanto o vidro sodo-cálcico moído, quanto o cimento envolvessem todos os agregados. Durante as primeiras 24 horas após a moldagem, os corpos de prova foram alocados em uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações, onde permaneceram intocáveis até a desmoldagem. Após este período, os corpos de prova foram identificados conforme o teor de substituição parcial e, colocados em câmara úmida à temperatura ambiente, permanecendo no tanque de cura até a data estabelecida para realização do ensaio de compressão uniaxial. Os corpos de prova não foram expostos ao gotejamento nem à ação de água em movimento.

Antes da realização do ensaio, ocorreu a remoção mecânica de uma fina camada de material das bases dos corpos de prova, processo conhecido como retificação, onde foi garantido a integridade estrutural e uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos em todos os pontos da superfície tratada.

Para a realização do ensaio de compressão uniaxial utilizou-se uma prensa hidráulica com capacidade de 100 toneladas-força. Antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos da prensa foram limpas e secas. O corpo de prova foi cuidadosamente colocado no centro do prato inferior. O carregamento do ensaio foi aplicado continuamente e sem choques, e sua velocidade foi mantida constante durante todo o processo de ensaio, analisando o comportamento da amostra no momento da ruptura.

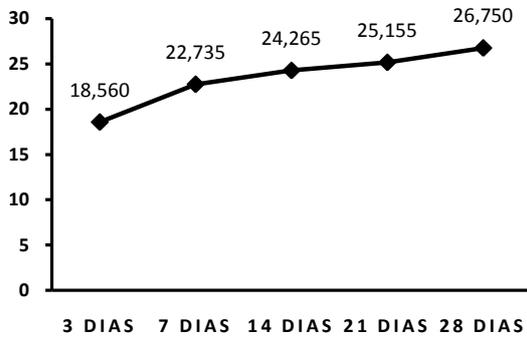
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa teve como principal objetivo produzir, estudar e comparar concretos com quatro diferentes teores de substituição parcial de cimento *Portland* por vidro sodo-cálcico moído. Visto isso, foi verificada a compatibilização das partículas de cimento *Portland* e do vidro sodo-cálcico (Tabela 3), de acordo com suas composições químicas, visto que ambos foram utilizados como aglomerante.

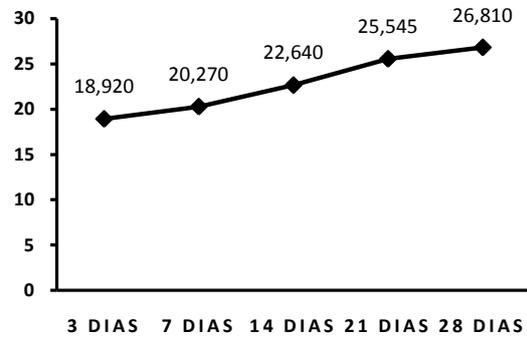
Tabela 3. Composição química do cimento *Portland* e do vidro sodo-cálcico (em óxidos)

Óxido	Porcentagem em massa (%)	
	Cimento Portland	Vidro sodo-cálcico
SiO ₂	20,33	72,20
Al ₂ O ₃	4,65	1,48
Fe ₂ O ₃	3,04	0,77
CaO	61,78	21,12
MgO	3,29	0,27
SO ₃	3,63	0,36
Na ₂ O	0,24	2,61
K ₂ O	0,59	0,87

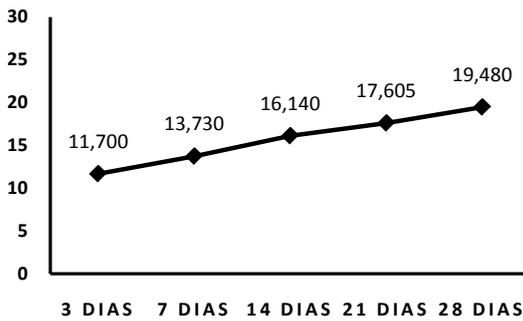
A Figura 3 apresenta os resultados da média de resistência à compressão uniaxial dos corpos de prova, em MPa, com diferentes teores de substituição do cimento *Portland* por vidro sodo-cálcico moído, rompidos nos dias estabelecidos.



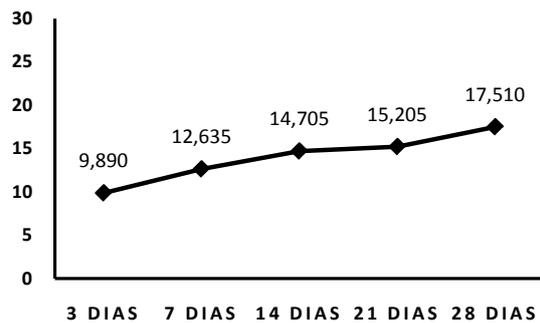
Média da resistência à compressão uniaxial do traço TS-0, em MPa



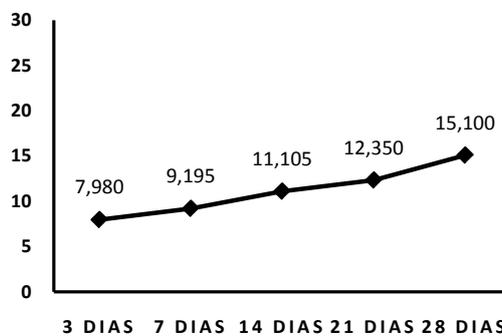
Média da resistência à compressão uniaxial do traço TS-10, em MPa



Média da resistência à compressão uniaxial do traço TS-20, em MPa



Média da resistência à compressão uniaxial do traço TS-30, em MPa



Média da resistência à compressão uniaxial do traço TS-40, em MPa



Figura 3. Resultado dos ensaios de compressão uniaxial dos traços estudados.

Através de análise dos gráficos, observa-se a influência do vidro sodo-cálcico na resistência do concreto. Conforme aumenta o teor de substituição, há uma diminuição na resistência à compressão. Porém, percebe-se que a substituição parcial de cimento por vidro sodo-cálcico moído em um teor de 10% tem um resultado satisfatório, visto que houve um valor de resistência à compressão praticamente idêntico ao traço sem substituição.

4 CONCLUSÃO

Após a realização dos ensaios de compressão uniaxial, concluiu-se que os resultados não foram satisfatórios para alguns teores de substituição parcial estudados. Entretanto, o teor de substituição parcial de 10% teve um resultado adequado, uma vez que ele obteve uma resistência final aos 28 dias levemente superior, quando comparado com o concreto sem substituição parcial. Portanto, conclui-se que é possível ocorrer uma redução do consumo de cimento *Portland* na confecção de concreto, sem que haja prejuízos em sua resistência à compressão e, viabilize um material que é descartado erroneamente em aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

- 1 CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Banco de dados – Consumo anual de cimento. 2014 [acesso em 02 de maio de 2017]. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>.
- 2 L. Magalar. Estudo da poluição atmosférica de cimenteira. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2007.
- 3 CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. Fichas Técnicas – Vidro. 2011 [acesso em 03 de maio de 2017]. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>.
- 4 G. Vijayakumar, H. Vishaliny, D. Govindarajulu. Studies on glass powder as partial replacement of cement in concrete production. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2013;3(2): 153-157.
- 5 K. Prudhvi, K. Saiprasad, K. S. Reddy, K. M. Kumar, D. Vinay. Laboratory study on “compressive strength of concrete with glass powder as partial replacement of cement”. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. 2016;3(5): 272-277.

- 6 D. M. Patil, K. K. Sangle. Experimental investigation of waste glass powder as partial replacement of cement in concrete. International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering. 2013;2(1): 112-117.
- 7 G. C. Isaia. Concreto: Ciência e Tecnologia. v.2. São Paulo: IBRACON; 2011.
- 8 J. M. Khatib, E. M. Negim, H. S. Sohl, N. Chileshe. Glass powder utilization in concrete production. European Journal of Applied Sciences. 2012;4(4): 173-176.
- 9 S. Shaikh, S. S. Bachhav, D. Y. Kshirsagar. Effective utilisation of waste glass in concrete. Journal of Engineering Research and Applications. 2015;5(12): 1-4.
- 10 S. Castro, J. Brito. Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates. Journal of Cleaner Production. 2013;41(1): 7-14.
- 11 Sombir, P. Berwal. A laboratory study on use of waste glass powder as partial replacement of cement in concrete production. International Journal of Advanced Research, Ideas and Innovations in Technology. 2017;3(1): 143-151.
- 12 B. S. Shekhawat, V. Aggarwal. Utilisation of waste glass powder in concrete – a literature review. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2014;3(7): 14822-14826.
- 13 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cimento Portland Composto, NBR – 11578-91, Rio de Janeiro, 1991.
- 14 ASTM – American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Portland Cement, C-150, Conshohocken, United States of America, 2007.