

INFLUÊNCIA DOS RESÍDUOS VÍTREOS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Miranda Jr., E. J. P.¹; Paiva, A. E. M.¹

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM)¹

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA)¹

Av. Getúlio Vargas, nº4, Monte Castelo, São Luís - MA

E-mail: edson.jansen@hotmail.com

RESUMO

Neste trabalho, foi estudada a influência da incorporação de resíduos vítreos, provenientes da etapa de desbaste e polimento de uma empresa de tratamentos térmicos de vidro, na resistência à compressão axial do concreto de cimento Portland. Os agregados graúdos e miúdos utilizados foram brita 1 e areia, respectivamente. Para produção do concreto, utilizaram-se percentagens de resíduos vítreos de 5%, 10% e 20%, em substituição à areia, e relações água/cimento (a/c) 0,50, 0,55 e 0,58. A cura dos corpos de prova foi realizada em 7, 14 e 28 dias. A análise estatística dos resultados foi realizada por meio da análise de variância para cada um dos tempos de cura. A partir dos resultados da resistência à compressão do concreto, pôde-se observar que o concreto possui aplicação estrutural para a relação a/c 0,5, independentemente da percentagem de resíduo vítreo utilizada, e para a relação a/c 0,55 com 20% de resíduo vidro.

Palavras-chave: concreto de cimento Portland, resíduos vítreos, resistência à compressão axial, análise de variância.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, são produzidas milhões de toneladas de resíduos industriais com grande potencial de aplicação na construção civil. Destes resíduos, 76% são descartados em aterros, 18% são co-processados, 3% são incinerados ou sofrem outros tratamentos térmicos e 3% sofrem tratamentos biológicos e outros. No

Brasil, todos os produtos feitos com vidro correspondem em média a 3% dos resíduos urbanos⁽¹⁾.

O Brasil produz em torno de um milhão de toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos. Parte dos resíduos é gerada como refugo nas fábricas e parte retorna por meio da coleta seletiva. Destas embalagens de vidro, somente 47% foram recicladas em 2009, o que equivale a 470.000 toneladas⁽²⁾.

A utilização de vidro como agregado fino no concreto já tem sido estudada e atualmente existem alguns países utilizando este material. A Austrália, por exemplo, já utiliza o vidro moído, proveniente do lixo, em concretos para construção. Foram apresentadas recomendações para o uso deste material em concretos no estado de Nova York. No Brasil, esta forma de valorização desse recurso é pouco utilizada, uma vez que o aterro é uma opção muito barata e a disponibilidade de matéria-prima para materiais de construção é abundante⁽³⁾. Entretanto, essa disponibilidade está reduzindo cada vez mais, pois segundo John⁽⁴⁾ a construção civil chega a consumir de 15 a 50% dos recursos naturais do planeta.

Este trabalho teve como principal objetivo estudar a influência, na resistência à compressão axial do concreto de cimento Portland, da substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduos vítreos, provenientes do processo de polimento e desbaste de chapas de vidro plano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O cimento Portland selecionado foi o pozolânico CP IV-32RS, marca Nassau, uma vez que este cimento confere uma menor permeabilidade para o concreto e principalmente por diminuir a reatividade da reação álcali-silica.

O agregado miúdo utilizado foi a areia lavada de rio e o agregado graúdo foi a brita 1, ambos obtidos pelas empresas Itapera Mineração Ltda e Brita Prado, respectivamente, que estão localizadas na cidade de São Luís - MA.

Os resíduos vítreos utilizados nesta pesquisa foram cedidos pela indústria de vidros temperados Marvite, sendo provenientes do processo de polimento e desbaste de chapas de vidro plano antes de passarem pelo processo de têmpera.

Estes resíduos encontravam-se aglomerados e endurecidos, devido à utilização de água no processo de polimento e desbaste das chapas de vidro.

A água utilizada para produção dos corpos de prova foi proveniente da rede de abastecimento local, Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA).

2.2 Métodos

Inicialmente, os resíduos vítreos para que pudessem ser utilizados na substituição da areia, foram destorroados, moídos e secos em estufa a 110°C. Posteriormente, os resíduos vítreos foram caracterizados quanto a sua distribuição granulométrica, difração de raios X (DRX) e espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF).

Para dosagem do concreto, foi utilizado o método EPUSP/IPT. Após a otimização do traço, determinou-se o traço utilizado para produção do concreto 1:1,57:1,935:0,5 (cimento:areia:brita:relação a/c).

As percentagens de resíduos vítreos utilizados na produção do concreto foram de 5%, 10% e 20%, em substituição à areia e as relações água/cimento (a/c) de 0,50, 0,55 e 0,58.

A moldagem e cura dos corpos de prova foram feitas conforme recomendações da NBR 5738⁽⁵⁾. O adensamento dos corpos de prova foi feito de forma manual, em duas camadas, onde cada camada de concreto recebia um total de 15 golpes. A cura inicial dos corpos de prova, primeiras 24 h, ocorreu dentro dos moldes à temperatura ambiente. Após as primeiras 24 h, os corpos de prova foram desmoldados e imersos em água à temperatura de 20 °C durante 7, 14 e 28 dias. A análise estatística dos resultados foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA).

2.2.1 Resistência à Compressão Axial

Foi realizada a determinação da resistência à compressão axial do concreto para os três tempos de cura, sendo que os corpos de prova cilíndricos foram conformados para cada uma das três relações a/c e para as três percentagens de vidro em substituição da areia. Foi utilizado o elastômero Policloroprene de forma não confinada, comercialmente conhecido como neoprene, dureza de 70 Shore A,

em substituição ao capeamento dos corpos de prova, conforme recomendações da ASTM C1231⁽⁶⁾.

Na realização do ensaio de compressão, foi utilizada uma máquina de ensaios mecânicos Emic DL30000N, com capacidade de 30 t. A velocidade de aplicação da carga se deu em velocidade constante, entre 0,3 e 0,8 MPa/s, de acordo com a norma NBR 5738.

2.2.2 Difração de Raios X (DRX)

Os corpos de prova com 28 dias de idade com 0% e 20% de vidro, após serem rompidos durante o ensaio de compressão axial, foram moídos em um almofariz para que pudessem posteriormente serem identificadas suas fases cristalinas pela técnica DRX. A fração moída dos corpos de prova analisada não continha agregados graúdos. Ademais, também foi realizada a análise por difração de raios X dos resíduos vítreos.

As análises por difração de raios X do concreto e dos resíduos vítreos foram realizadas em um aparelho Rigaku, modelo X-Ray Diffractometer RINT 2000, com anodo rotatório de Cu, radiação $K\alpha$, monocromador de grafite e Goniômetro RINT 2000, do Instituto de Química da UNESP – Campus Araraquara. Os registros foram realizados no intervalo de 20 a 80° com varredura contínua, com passo de 0,02°, corrente de 120 mA e voltagem de 42 kV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos Resíduos Vítreos

A Figura 1 apresenta o gráfico comparativo da distribuição granulométrica da areia e dos resíduos vítreos. A percentagem de material pulverulento (menor que 0,0075 mm) do vidro foi de 6,74%. Esta percentagem é considerada elevada em comparação com a da areia de 3,15%. A elevada percentagem de finos do resíduo vítreo pode acarretar um aumento na absorção de água e comprometer a hidratação do cimento.

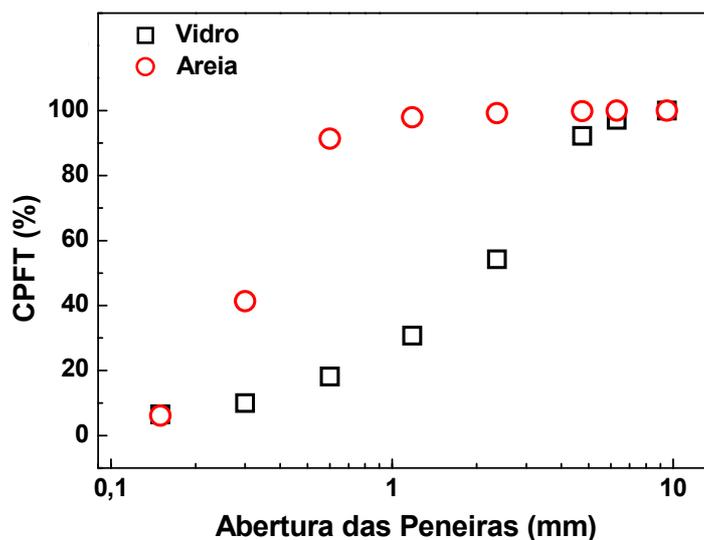


Figura 1. Curva de distribuição granulométrica dos resíduos vítreos em função da porcentagem passante.

A Figura 2 apresenta o difratograma de raios X do resíduo vítreo, evidenciando o estado não-cristalino do material.

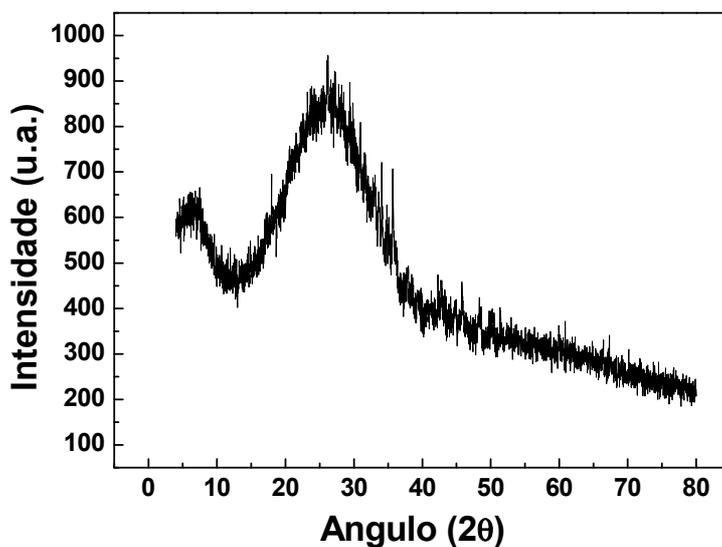


Figura 2. Difratograma de raios X do resíduo vítreo.

A Tabela 1 apresenta análise química do resíduo vítreo por espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF), onde observa-se a predominância dos elementos Si e Ca.

Tabela 1. Análise química do resíduo vítreo utilizado.

Elemento	Porcentagem (%)
Si	49,986%
Ca	41,847%
Fe	2,119%
S	1,938%
Al	1,335%
Mg	0,970%
K	0,839%
Ti	0,322%
Cu	0,299%
Sr	0,148%
Zr	0,114%
Zn	0,083%

3.2 Resistência à Compressão Axial

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam a análise de variância dos dados da resistência à compressão axial do concreto em função da relação a/c e da porcentagem de vidro utilizado para 7, 14 e 28 dias de cura.

Tabela 2. ANOVA dos valores referentes ao ensaio de resistência à compressão para os efeitos da relação a/c e da porcentagem de vidro para 7 dias de cura.

ANOVA						
Varição	GL	SQ	MQ	F _{exp.}	F _{crí.}	Valor de p
a/c	2	381,12365	190,56183	458,50381	3,40	0
% de vidro	3	15,47677	5,15892	12,41269	3,01	4,22588E-5
Interação	6	13,68808	2,28135	5,48907	2,51	0,00107
Modelo	11	410,2885	37,29895	89,74364	2,215	1,11022E-16
Resíduo	24	9,9748	0,41562	--	--	--
Total	35	420,2633	--	--	--	--

*GL = Graus de Liberdade; **SQ = soma dos quadrados; ***MQ = média dos quadrados.

Tabela 3. ANOVA dos valores referentes ao ensaio de resistência à compressão para os efeitos da relação a/c e da percentagem de vidro para 14 dias de cura.

ANOVA						
Variação	GL	SQ	MQ	F _{exp.}	F _{crí.}	Valor de p
a/c	2	189,62047	94,81023	134,10533	3,40	9,42579E-14
% de vidro	3	17,0525	5,68417	8,04003	3,01	7,0095E-4
Interação	6	18,87651	3,14609	4,45001	2,51	0,00367
Modelo	11	225,54948	20,5045	29,0028	2,215	3,4803E-11
Resíduo	24	16,9676	0,70698	--	--	--
Total	35	242,51708	--	--	--	--

Tabela 4. ANOVA dos valores referentes ao ensaio de resistência à compressão para os efeitos da relação a/c e da percentagem de vidro para 28 dias de cura.

ANOVA						
Variação	GL	SQ	MQ	F _{exp.}	F _{crí.}	Valor de p
a/c	2	424,66072	212,33036	726,04676	3,40	0
% de vidro	3	7,16762	2,38921	8,1697	3,01	6,38573E-4
Interação	6	13,70993	2,28499	7,81333	2,51	9,77917E-5
Modelo	11	445,53827	40,50348	138,49842	2,215	0
Resíduo	24	7,01873	0,29245	--	--	--
Total	35	452,557	--	--	--	--

Pode-se concluir com base nas análises de variância, que a hipótese das médias serem iguais foi rejeitada e que os efeitos da relação a/c, percentagem de vidro e a interação entre eles são significantes ao nível de significância de 5% para todos os tempos de cura da resistência à compressão axial.

A influência da percentagem de vidro e da relação a/c na resistência à compressão do concreto para cada um dos três tempos de cura pode ser observada nas Figuras 3, 4 e 5. Observa-se nas figuras abaixo que a percentagem de vidro e a relação a/c influenciaram significativamente na resistência à compressão do concreto para cada um dos tempos de cura analisados, sendo que a relação a/c foi a variável de maior influência na resistência à compressão do concreto, o que foi corroborado pelas análises de variância.

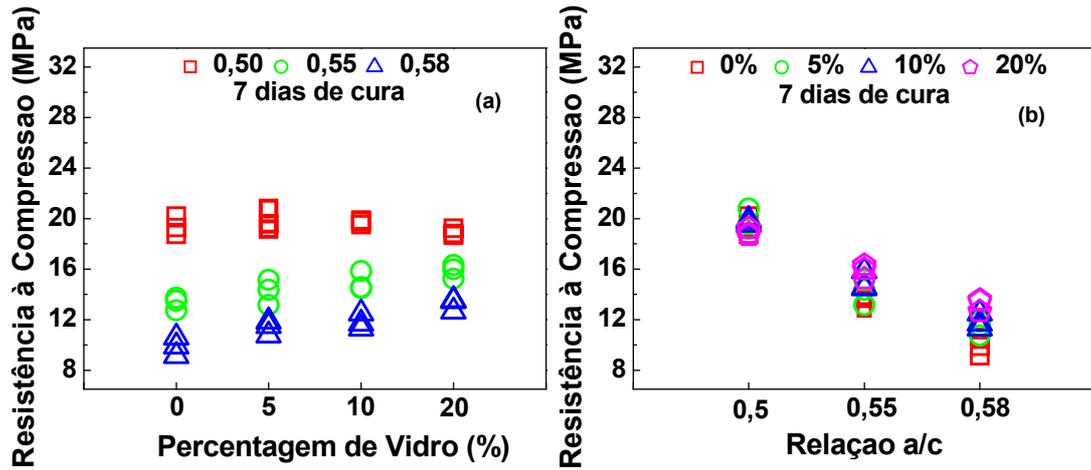


Figura 3. Resistência à compressão do concreto para todos os corpos de prova em função da percentagem de vidro (a) e da relação a/c (b) para 7 dias de cura.

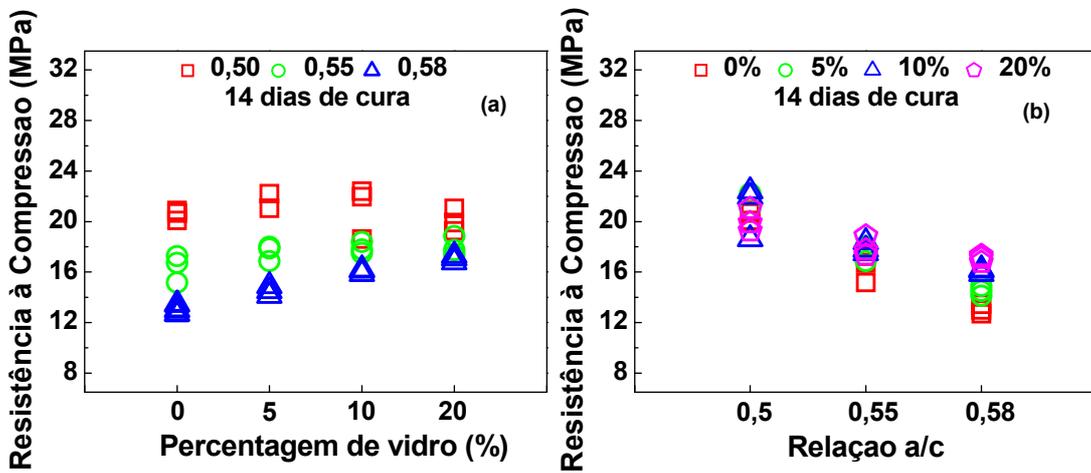


Figura 4. Resistência à compressão do concreto para todos os corpos de prova em função da percentagem de vidro (a) e da relação a/c (b) para 14 dias de cura.

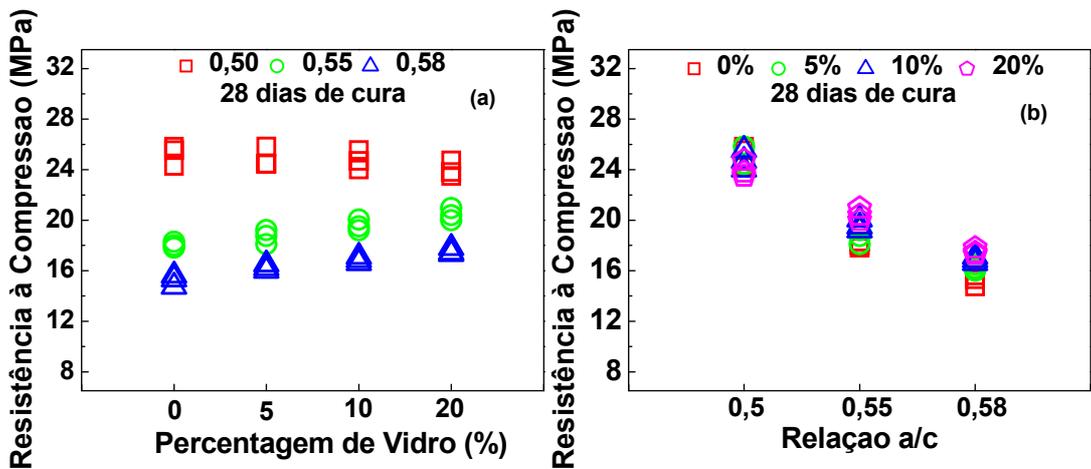


Figura 5. Resistência à compressão do concreto para todos os corpos de prova em função da percentagem de vidro (a) e da relação a/c (b) para 28 dias de cura.

Independentemente do tempo de cura, para as relações a/c 0,55 e 0,58, o aumento da porcentagem de vidro substituída levou ao aumento da resistência à compressão^(4,7,8,9,10,11).

Segundo Polley⁽¹²⁾, o aumento da quantidade de vidro e do tamanho de partícula do vidro resulta em uma maior quantidade de água necessária para que a mistura mantenha uma determinada trabalhabilidade, resultando em uma menor resistência.

Entretanto, para a relação a/c 0,50, o aumento da porcentagem de vidro proporcionou uma redução da resistência à compressão do concreto^(13,14,15), com exceção do aumento da resistência de 0% para 5% de vidro.

Outros comportamentos esperados também podem ser verificados nos gráficos da Figura 3, 4 e 5, como o aumento da resistência em função do aumento do tempo de cura e da redução da relação a/c.

3.3 Difração de Raios X (DRX)

As Figuras 6 e 7 apresentam os difratogramas de raios X do concreto com 0% e 20% de vidro, respectivamente, para a relação a/c 0,50.

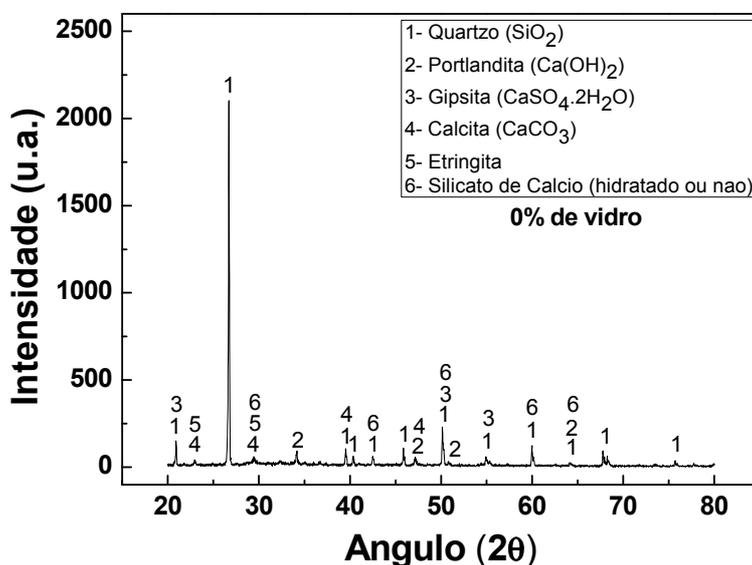


Figura 6. Difratograma de raios X do concreto com 0% de vidro e relação a/c 0,50.

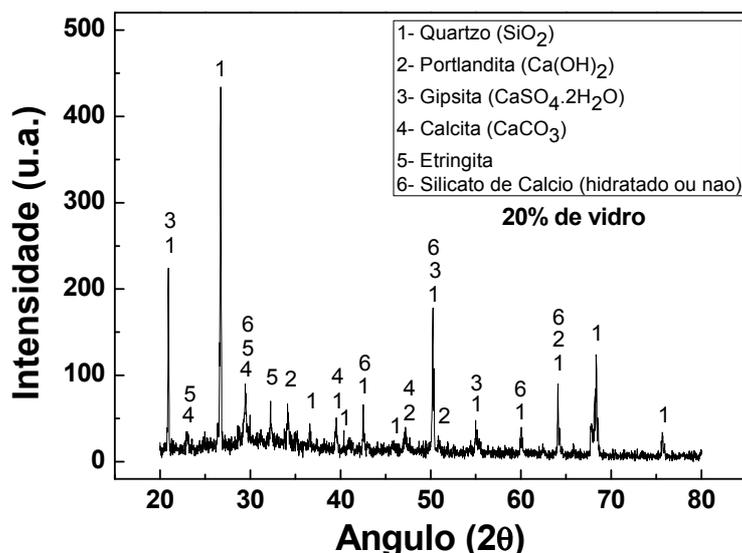


Figura 7. Difratograma de raios X do concreto com 20% de vidro e relação a/c 0,50.

A partir das Figuras 6 e 7, observa-se que não houve diferença mineralógica qualitativa entre o concreto sem resíduo vítreo e com resíduo vítreo. Entretanto, o difratograma de raios X do concreto com 20% de vidro é influenciado pelos resíduos vítreos, que interferem na distribuição homogênea dos picos do difratograma, uma vez que o vidro é um material não-cristalino.

Através do difratograma de raios X do concreto com vidro e sem vidro, verificou-se a presença de alguns grupos de minerais, como: componentes usuais do concreto (quartzo-SiO₂, calcita-CaCO₃ e silicatos de cálcio), produtos de hidratação (etringita-Ca₆(Al(OH)₆)₂(SO₄)₃(H₂O)₂₆) e minerais ligantes (portlandita-Ca(OH)₂ e a gipsita-CaSO₄.2H₂O).

4. CONCLUSÃO

A resistência à compressão do concreto para as relações a/c 0,55 e 0,58 aumentou em função do aumento da percentual de vidro. Entretanto, para relação a/c 0,50 houve um aumento da resistência entre as percentagens de 0% a 5% de vidro, apresentando um grande potencial de substituição da areia pelo resíduo vítreo, e posteriormente uma redução até o percentual de 20% de vidro.

A partir dos resultados da resistência à compressão do concreto, pôde-se observar que este possui aplicação estrutural para a relação a/c 0,5, independentemente da percentagem de resíduo vítreo utilizada, e para a relação a/c

0,55 com 20% de vidro. A resistência à compressão do concreto para 7, 14 e 28 dias de cura foi mais influenciada pela relação a/c do que pela percentagem de vidro em substituição da areia.

No mais, os resultados estatísticos comprovaram uma qualidade satisfatória nos resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão axial do concreto de cimento Portland.

5. REFERÊNCIAS

1. ABETRE. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br>>. Acesso em 15 jun. 2011.
2. CEMPRE. Vidros: o mercado para reciclagem. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_vidro.php>. Acesso em: jun/2011.
3. LÓPEZ, D.A.R.; AZEVEDO, C.A.P. de; BARBOSA Neto, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. *Cerâmica*, v. 51, p. 318-324, 2005.
4. JOHN, V.M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. 2000. Tese (Doutorado em Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro: 2003.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1231 / C1231M - 10a**: Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders. Philadelphia: 2000.
7. LIMBACHIYA, M.C. Bulk engineering and durability properties of washed glass sand concrete. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 1078-1083, 2009.
8. PERKINS, G.D. Development of concrete containing waste glass. In: Plassmann, P. and Roach, P. (eds.) *Proceedings of the 3rd Research Student Workshop*. Pontypridd: University of Glamorgan, p. 78-80, 2008.
9. SHAYAN, Ahmad; XU, Aimin. Value-added utilisation of waste glass in concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 34, p. 81-89, 2004.
10. TAHA, Bashar; NOUNU, Ghassan. Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement. *Construction and Building Materials*, v. 22, p. 713-720, 2008.

11. TURGUT, P.; YAHLIZADE, E.S. Research into concrete blocks with waste glass. ***International Journal of Civil and Environmental Engineering***, v. 1, p. 203-209, 2009.
12. POLLEY, Craig. ***The effects of waste glass aggregate on the strength and durability of Portland cement concrete***. 1996. Thesis (Master of Science - Civil and Environmental Engineering) – University of Wisconsin, Madison, 1996.
13. MEYER, C.; EGOSI, N.; ANDELA, C. Concrete with Waste Glass as Aggregate. In: Recycling and Re-use of Glass Cullet. ***Proceedings of the International Symposium Concrete Technology Unit of ASCE and University of Dundee***, p. 19-20, 2001.
14. PARK, S.B.; LEE, B.C.; KIM, J.H. Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate. ***Cement and Concrete Research***, v. 34, p. 2181–2189, 2004.
15. KOU, S.C.; POON, C.S. Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate. ***Cement & Concrete Composites***, v. 31, p. 107-113, 2009.

Influence of the waste glass in the axial compressive strength of Portland cement concrete

ABSTRACT

In this work, was studied the influence of the incorporation of waste glass, coming from the stage of thinning and polishing of a company of thermal glass treatments, in the axial compressive strength of Portland cement concrete. The coarse and ground aggregates used was crushed stone and sand, respectively. For production of the concrete, percentages of glass residues of 5%, 10% and 20% had been used in substitution to the sand, and relations water/cement (a/c) 0,50, 0,55 and 0,58. The cure of the test bodies was carried through in 7, 14 and 28 days. The statistics analysis of the results was carried out through of the analysis of variance for each one of the cure times. From the results of the compressive strength of the concrete, it could be observed that the concrete has structural application for the relation a/c 0,5, independently of waste glass percentage used, and for the relation a/c 0,55 with 20% of waste glass.

Key-Words: Portland cement concrete, waste glass, axial compressive strength, variance analysis.