

# Efeitos da Substituição de Areia por Vidro Moído no Comportamento de Concretos em Elevadas Temperaturas

*Débora Righi<sup>1</sup>*  
*Lucas Köhler<sup>2</sup>*  
*Larissa Kirchhof<sup>3</sup>*  
*Rogério Lima<sup>4</sup>*

## Resumo

A produção de embalagens e produtos descartáveis aumentou de modo significativo a partir da década de 80, elevando o volume de resíduos em aterros sanitários. Diante deste acréscimo e visando o desenvolvimento sustentável do planeta, muitos governos e ONG estão cobrando posturas mais responsáveis sobre este assunto, pois o crescimento econômico deve estar aliado à preservação do meio ambiente. Nesta pesquisa estudou-se a substituição da areia utilizada na produção de concreto por sucata de vidro moído, proveniente da moagem de garrafas “long neck” de vidro. Essas garrafas são consideradas atualmente um dos mais problemáticos resíduos gerados do mundo, pois após o consumo da bebida são simplesmente descartadas, ou seja, o material é tratado como lixo ocupando espaço do destino final. A pesquisa contemplou ainda a avaliação do comportamento dos concretos produzidos em altas temperaturas, simulando a exposição a um incêndio. Sabe-se que as estruturas de concreto apresentam boa resistência quando submetidas a elevadas temperaturas em virtude das características térmicas desse material, no entanto as estruturas de concreto podem estar sujeitas a um colapso por instabilidade da peça, isso porque o incêndio provoca a redução da resistência do concreto à tração e compressão. Neste estudo, além dos ensaios de resistência à compressão simples à temperatura de serviço, também se analisou o seu comportamento à 600 °C. Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm, para as substituições parciais de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e até 100% da quantidade de areia por vidro moído, os quais foram submetidos à ensaios aos 63 dias, com traço 1 : 1,94 : 3,06 (cimento: areia: brita) e o/c = 0,45. Os resultados obtidos indicam que a substituição de areia por vidro, em diferentes teores, não alterou significativamente a resistência à compressão à temperatura ambiente; entretanto, à 600 °C observou-se uma redução na resistência.

Palavras-chave: sustentabilidade, concreto, vidro, altas temperaturas, incêndio.

## 1 Introdução

O concreto é um dos materiais mais usados nas obras de engenharia e se encontra em constante estudo. Sua grande aplicação se deve à sua durabilidade, facilidade de assumir formas diferentes e versatilidade, sendo por isso utilizado de diversas formas, seja em peças estruturais ou não estruturais. A possibilidade de incorporação de resíduos em misturas à base de cimento é uma contribuição da construção civil para reciclagem de resíduos prejudiciais ao meio ambiente, podendo também melhorar o desempenho dos materiais com sua adição (MARQUES, 2006).

De acordo com FERRARI e JORGE (2010), em sua forma pura, o vidro é um óxido metálico superesfriado transparente, de elevada dureza, essencialmente inerte e biologicamente inativo, que pode ser fabricado com superfícies muito lisas e impermeáveis. Essas propriedades desejáveis conduzem a um grande número de aplicações, distinguindo-se de outros materiais por várias características, tais como baixa porosidade, absorvidade, dilatação e condutibilidade térmica, suportando pressões de 5.800 a 10.800 kg/cm<sup>2</sup>.

O uso de vidro já foi estudado e atualmente existem países utilizando este material como agregado fino no concreto. A Austrália, por exemplo, já utiliza

1, 2 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil/UNIPAMPA. Av. Tiarajú, 810 – 97546-550 – Alegrete/RS.

3, 4 Professor do Centro de Tecnologia/UFSM. Av. Roraima, 1000 – Prédio 07 – 97105-900 – Santa Maria/RS.

o vidro moído proveniente do lixo em concretos para construção (CRENTSIL *et al.* 2001). Foram apresentadas recomendações para o uso deste material em concretos no estado de Nova York (MEYER *et al.*, 1999). No Brasil, essa 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.

Segundo o CEMPRE (2009), no Brasil é produzido em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos. Esses cacos são provenientes em parte de refugo nas fábricas e em parte na coleta seletiva dos municípios. O principal mercado para recipientes de vidros usados é formado pelas vidrarias, que compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem diretamente de suas campanhas de reciclagem. Além de voltar à produção de embalagens, a sucata pode ser aplicada na composição de asfalto e pavimentação de estradas, construção de sistemas de drenagem contra enchentes, produção de espuma e fibra de vidro, bijuterias e tintas reflexivas.

Os componentes de vidro decorrentes de resíduo municipal (resíduo doméstico e comercial) são geralmente garrafas, artigos de vidro quebrados, lâmpada incandescente, potes de alimentos e outros tipos de componentes. A sucata de vidro apresenta um baixo índice de reciclagem, fazendo com que aproximadamente 2% do lixo gerado e depositado nos lixões e aterros sanitários do país seja composto por vidros. Estima-se que aproximadamente 70% dos aterros estarão com sua capacidade muito reduzida no próximo milênio, pois o tempo estimado de decomposição do vidro é aproximadamente um milhão de anos (SANTOS, 1998).

Uma alternativa sustentável para reduzir esse volume de vidros depositados em lixões seria utilizá-los na construção civil, incorporados em misturas à base de cimento, tais como na produção de concretos com sucata de vidro moído em substituição à areia. Entretanto, NEVILLE (1997) destaca que uma das restrições existentes ao uso de vidro reciclado em concretos é a provável ocorrência de reação álcali-silica entre os álcalis do cimento e a sílica presente no vidro.

Johnson (1974) *apud* Shao *et al.* (2000) menciona que devido à reação entre o álcalis no cimento e a sílica reativa no vidro, o uso do vidro, como agregado graúdo no concreto, não é satisfatória, visto que desencadeia perda de resistência e excessiva expansão no material. No entanto, estudos recentes têm mostrado que se as partículas de vidro apresentarem um tamanho de partícula de, no máximo, 300  $\mu\text{m}$ , a expansão induzida pela reação álcali-silica pode ser reduzida (MEYER *et al.*, 1996 *apud* SHAO *et al.*, 2000).

Levando-se em conta esta consideração, SHAO *et al.* (2000) pesquisaram a possibilidade de incorporação de partículas de vidro finamente moídas, como substituição parcial do cimento, na produção de concretos. Os ensaios realizados serviram para avaliar a atividade pozolânica do vidro moído bem como monitorar o desenvolvimento da resistência à compressão do concreto, após a substituição parcial de 30% do volume de cimento por vidro moído. Além disso, ensaios em argamassas foram realizados para estudar a potencialidade de expansão induzida pela reação álcali-silica. Os resultados mostraram que o efeito do tamanho das partículas de vidro moído no desempenho do concreto é bastante significativo. Concretos produzidos com tamanhos de partículas de vidro moído menores do que 75  $\mu\text{m}$  apresentaram um aumento na resistência à compressão, bem como uma menor expansão quando comparada ao traço padrão. De acordo com os autores, o aumento de resistência e a redução da expansão induzida pela reação álcali-silica associadas ao efeito do tamanho de partícula são um forte indicativo de atividade pozolânica no material.

Os resultados obtidos por LOPEZ (2003) mostram uma tendência de aumento da tensão média de ruptura com o aumento da granulometria do material até atingir a granulometria entre 0,15 – 0,30 mm, após o qual a tensão de ruptura diminui novamente se mantendo num patamar, porém, superior ao do corpo de prova de referência. Esse aumento da tensão média poderia ser causado pelo preenchimento de vazios pelo vidro fino. Os espaços entre os agregados utilizados, principalmente entre a areia, estariam sendo ocupados pelo vidro, fazendo com que o material fique mais resistente.

TOPÇU e GANBAZ (2004) utilizaram vidro moído de cores diversas na confecção de concretos, com granulometria variando entre 4 e 16 mm, em substituição parcial do agregado graúdo, nas porcentagens de 0%, 15%, 30%, 45% e 60%, com vistas a estudar seu efeito na trabalhabilidade e resistência do concreto. Para análise da reação álcali-silica foram confeccionadas argamassas com substituição de vidro moído pela areia nas seguintes porcentagens: 0%, 25%, 50% 75% e 100%. moído. Quanto à trabalhabilidade os resultados mostraram que a adição de vidro moído não teve um efeito considerável no concreto, não seguindo uma linha de tendência com o aumento da porcentagem de vidro. Essa discrepância foi atribuída à geometria pobre (distribuição granulométrica não uniforme) do vidro moído. Com referência aos ensaios de resistência, pode-se observar que há uma redução da resistência do material com o aumento da porcentagem de vidro moído. Esse comportamento pode ser atribuído à alta fragilidade do vidro moído que leva ao surgimento

de fissuras, dificultando a adesão entre o vidro e a pasta de cimento. Além disso, novamente os autores salientam que sua geometria pobre não permitiu que uma distribuição granulométrica homogênea fosse alcançada. Com relação à reação álcali-silica, essa ocorre de forma mais lenta, quanto menor for o teor de vidro moído na mistura. Além disso, foi observado que apesar da cor do vidro não produzir efeitos na resistência do concreto, constatou-se que após alguns dias de ensaio, o vidro branco dilatou-se mais que o vidro verde e marrom, excedendo, assim, o limite de expansão exigido por norma.

A crescente e variada utilização do concreto em elementos estruturais demanda que seja efetuada uma detalhada avaliação de suas propriedades em situações peculiares, tais como durante a ocorrência de incêndios. Em edificações, sinistros desse tipo representam um das mais severas formas de exposição a que a estrutura pode estar submetida.

Este trabalho apresenta resultados parciais de um estudo que buscou analisar a resistência à compressão de concretos, com substituição da areia por vidro moído em diferentes de teores, após à exposição a elevadas temperaturas, buscando simular a degradação do concreto quando os elementos estruturais são expostos a incêndios.

Como explica NEVILLE (1997), o concreto, em princípio, apresenta um desempenho adequado ao ser submetido ao calor, uma vez que, durante o processo de aquecimento, não ocorre o desprendimento de gases tóxicos, e o intervalo de tempo que o mesmo resiste ao calor, mantendo boas características, é relativamente longo. Além disso, o concreto é um material não combustível e que tem baixa condutividade térmica. No entanto, sob certas condições, os efeitos do aquecimento podem ser mais variáveis e intensos, inspirando cuidados e levantando dúvidas sobre o desempenho de

alguns tipos de concreto, prevenindo a formação de conceitos genéricos a respeito do assunto.

## 2 Metodologia

O concreto utilizado no programa experimental contemplou a substituição de parte do agregado miúdo natural (areia) por vidro moído, nas proporções de 0, 5, 10, 15, 20 e 100%. O vidro utilizado nos ensaios foi proveniente da coleta seletiva de garrafas do tipo *long-neck*, sendo que esse material foi escolhido devido a sua abundância e por não ter uma destinação adequada na região.

Inicialmente, procedeu-se a limpeza de aproximadamente 220 garrafas, com a remoção de rótulos e imersão em água para retirada de resíduos. Em seguida, essas garrafas foram moídas artesanalmente, adquirindo diferentes tamanhos de grão (Figura 1).

Para obtenção de uma curva granulométrica contínua, segundo NM 248:2003, os cacos foram peneirados mecanicamente, sendo aproveitado os resíduos passantes na peneira ABNT 4 (# 4,8mm). A Tabela 1 apresenta a porcentagem retida e acumulada em cada peneira. De acordo com os procedimentos da NBR 9776:1987, a massa específica do vidro moído utilizado foi 2,51 g/cm<sup>3</sup>. Em relação a distribuição granulométrica do vidro moído, observa-se que as porcentagens retidas acumuladas nas diferentes peneiras estão dentro dos limites de distribuição granulométrica, previstos na NBR 7211:2009, para que um material seja considerado agregado miúdo para concreto.

O agregado miúdo foi uma areia média proveniente da região de Alegrete/RS. A caracterização desse material também se deu pela NM 248:2003 e encontra-se na Tabela 2. A massa específica da areia utilizada foi 2,63 g/cm<sup>3</sup>.

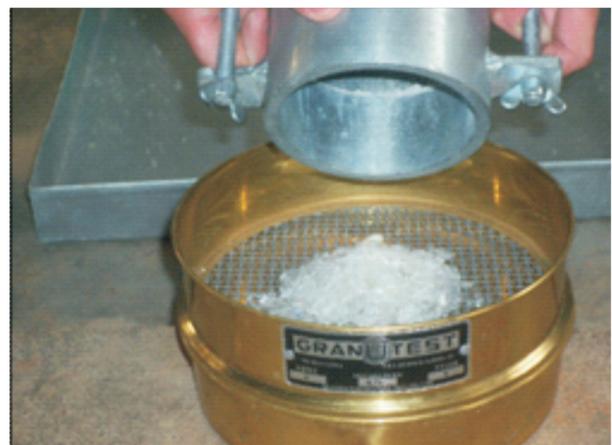


Figura 1 – Moagem manual das garrafas e tamanhos de grão.

Como agregado graúdo utilizou-se brita nº 2 de origem basáltica oriunda da mesma região. A caracterização foi realizada por meio da NM 248:2003 e encontra-se na Tabela 3. A massa específica do agregado graúdo foi de 2,92 g/cm<sup>3</sup>.

Após a caracterização do material, foram moldados 15 corpos de prova cilíndricos de concreto para cada traço, com dimensões de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura), usando-se as recomendações do Método de Dosagem IPT/EPUSP (HELENE e

**Tabela 1** – Caracterização granulométrica do vidro moído.

VIDRO MOÍDO			
Diâmetros Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	
		Individual	Acumulada
4,800	0,00	0,00	0,00
2,400	20,70	4,14	4,14
1,200	121,80	24,36	28,49
0,600	120,70	24,14	52,63
0,300	83,40	16,68	69,31
0,150	58,40	11,68	80,98
<0,150	95,10	19,02	100,00
Σ	500,1	Módulo de Finura:	3,59

**Tabela 2** – Caracterização granulométrica do agregado miúdo.

AREIA			
Diâmetros Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	
		Individual	Acumulada
4,800	0,00	0,00	0,00
2,400	17,70	0,25	0,25
1,200	55,70	0,79	1,05
0,600	236,92	3,38	4,43
0,300	4930,00	70,34	74,76
0,150	1617,33	23,07	97,84
0,075	151,50	2,16	100,00
0,075<	0,00	0,00	100,00
Σ	7009,15	Módulo de Finura:	2,78

**Tabela 3** – Caracterização granulométrica do agregado graúdo.

BRITA			
Diâmetros Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	
		Individual	Acumulada
38,100	0,00	0,00	0,00
25,400	0,00	0,00	0,00
19,100	1923,10	27,34	27,34
12,700	3841,00	54,61	81,96
9,520	911,80	12,96	94,92
6,350	331,50	4,71	99,64
4,750	25,60	0,36	100,00
<4,75	0,00	0,00	100,00
Σ	7033,00	Módulo de Finura:	4,04

TERZIAN, 1992), usando-se cimento Portland CP IV-32 e mantendo-se o teor de argamassa em 49% para todos os traços.

Na Tabela 4 apresentam-se os traços e as respectivas quantidades de materiais utilizadas.

Os corpos de prova foram curados por imersão em solução de água e cal hidratada durante 56 dias e, após esse período foram aquecidos em estufa à 60 °C para eliminar o excesso de umidade, conforme ilustram as Figuras 2a e 2b.

**Tabela 4** – Quantidade em massa dos materiais utilizados em cada traço.

TRAÇO	VIDRO (%)	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	VIDRO (kg)	BRITA (kg)	ÁGUA (l)
0% Vidro	0	10,52	20,40	0,0	32,18	4,73
5% Vidro	5	10,52	19,38	1,02	32,18	4,73
10% Vidro	10	10,52	18,36	2,04	32,18	4,73
15% Vidro	15	10,52	17,34	3,06	32,18	4,73
20% Vidro	20	10,52	16,32	4,08	32,18	4,73
100% Vidro	100	10,52	0,00	20,70	32,18	4,73



(a)



(b)

**Figura 2** – (a) cura em tanque com água e cal; (b) secagem em estufa.



(a)



(b)

**Figura 3** – (a) forno elétrico; (b) prensa hidráulica..

Aos 63 dias, foram separados por traço em grupos de três elementos e aquecidos à temperatura de 600 °C durante intervalos de 30, 60, 90 e 120 minutos, para após serem comparados com corpos de prova referência à temperatura ambiente. Para o aquecimento, utilizou-se um forno elétrico programável (Figura 4) com potência de 18 kW/h e controlador automático de temperatura digital, com precisão de 1 °C. A taxa de aquecimento adotada foi de 27,5 °C/min, valor que se encontra em conformidade com as observações de ANDERBERG [2003], referente à taxa média de acréscimo na temperatura, prevista na curva de incêndio-padrão da ISO 834, para os primeiros 30 minutos de ensaio. Uma vez atingida à temperatura de 600 °C, passava-se a controlar o tempo de exposição. Após o resfriamento, os corpos de prova foram ensaiados à compressão simples (Figura 3), de acordo com as recomendações da NBR 5739: 2007.

### 3 Análise dos Resultados

Na Figura 4 apresentam-se os resultados experimentais de resistências à compressão simples para os respectivos traços à temperatura ambiente. Os valores representam a média de três corpos de prova

submetidos às mesmas condições de ensaio. Cabe salientar que os dados extraídos dos ensaios foram inicialmente filtrados com o intuito de identificar e eliminar valores atípicos. Os dados numéricos coletados foram considerados suspeitos quando o valor absoluto da variável de resposta subtraído da média de suas repetições era maior que o desvio padrão. Uma vez identificados os valores suspeitos, foram calculados as novas médias e os novos desvios padrões dos grupos sem considerar esses valores suspeitos. A seguir, procedeu-se novamente a subtração da variável de resposta suspeita pela nova média calculada, sendo classificado como valor espúrio o resultado cujo valor absoluto ultrapassasse duas vezes o novo desvio padrão. Os valores experimentais e tratamento estatístico estão apresentados no anexo.

Em relação à adição de vidro no concreto para os traços à temperatura ambiente, observa-se que o incremento da porcentagem de vidro na mistura ocasionou redução na resistência até o teor de 15% de substituição em relação ao concreto de referência, comportamento já esperado tendo por base os resultados experimentais de BARROSO *et al.* (2010). Entretanto, no traço com 100% de substituição, a resistência obtida foi superior a do concreto referência. Acredita-se que este comportamento resultou do aumento no teor de

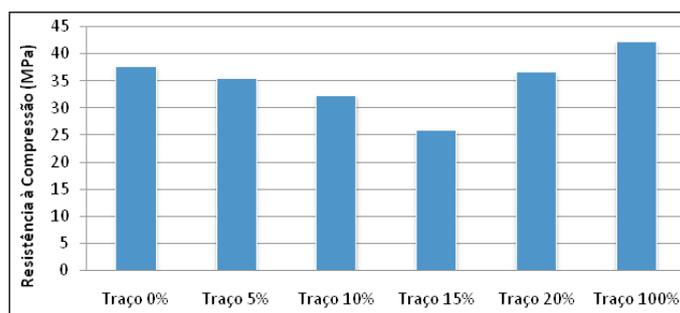


Figura 4 – (a) Resistência a compressão à temperatura ambiente.

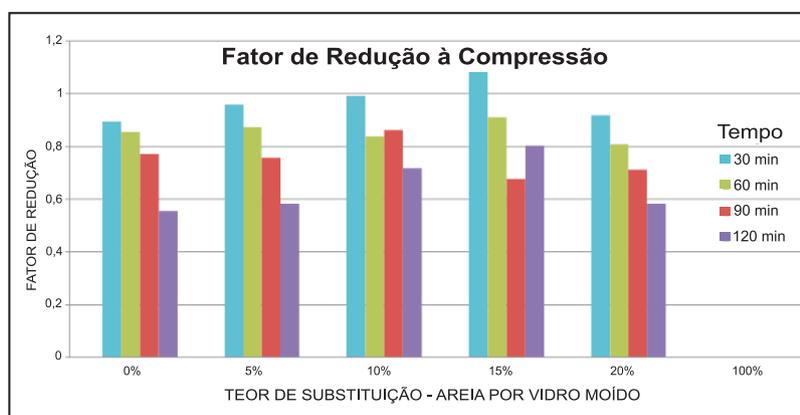


Figura 5 – Fatores de redução da resistência pela exposição a elevadas temperaturas.

finos da mistura quando comparado com a curva granulométrica da areia utilizada, pois o vidro moído foi o passante na peneira ABNT de malha 4,8 mm. Associado a esse fato, durante a concretagem manteve-se constante a relação água/cimento para todos os traços, independente da trabalhabilidade. Nesse teor, inclusive, não foi possível realizar o adensamento dos corpos de prova manualmente, tendo sido necessário utilizar uma mesa vibratória para realizar o procedimento.

Na Figura 5, observam-se os fatores de redução da resistência à compressão simples quando o concreto é aquecido a 600 °C nos intervalos de 30, 60, 90 e 120 minutos em relação à resistência a compressão simples dos respectivos traços de referência à temperatura ambiente.

Para melhor interpretação dos resultados e compreensão, dividiu-se a análise em duas etapas: efeito do tempo de exposição à 600 °C e efeito do teor de vidro na mistura.

### 3.1 Efeito do tempo de exposição à 600 °C

Observa-se que a exposição à 600 °C em diferentes intervalos de tempo ocasionou uma redução gradual na resistência à compressão e esta, na maioria dos casos, foi diretamente proporcional ao incremento do tempo de exposição, fato já reportado em LIMA (2005) e KIRCHHOF (2010). Para o tempo de 90 minutos, dois comportamentos atípicos foram observados para os teores de substituição de 10 e 15%, o que provavelmente deva estar mais relacionado a variabilidade experimental do que tendência de comportamento diferenciada.

No teor de 100% não se obteve resultados em nenhum intervalo de tempo de exposição à 600 °C, devido a todos os corpos de prova terem ruptura por *spalling*. Isso se deve ao traço ter apresentado um comportamento de um concreto de alta resistência, devido à grande presença de finos, onde a liberação da pressão interna de vapor durante o aquecimento é dificultada em função de sua matriz muito compacta. Conforme explicado por LIMA (2005), quando as massas se encontram saturadas a pressão interna de vapor se eleva, ultrapassando a capacidade de liberação de vapores pelos poros e nesses casos, o *spalling* pode ocorrer já nos primeiros 30 minutos de ensaio.

### 3.2 Efeito do teor de vidro na mistura

Analisa-se que em todos os tempos de exposição à 600 °C, os traços obtiveram um comportamento similar, tendo um incremento de resistência até o teor de 15% e decaindo a partir deste. Isso se deve ao concreto apresentar uma matriz mais aberta nos teores mais baixos, reduzindo assim a compactidade, o que levou a uma maior facilidade da evaporação da água interna do

concreto. Contudo, percebe-se que houve duas exceções nos teores 10% e 15% expostos a 60 e 90 minutos à 600 °C, respectivamente.

Com o aumento do teor de vidro no concreto, observa-se que a partir de 15% de substituição, o mesmo começou a apresentar um comportamento diferenciado, levando a uma melhor compactidade da matriz cimentícia, o que contribui para uma maior incidência do fenômeno chamado *spalling*. No teor de 100%, não se obteve resultados em nenhum intervalo de tempo de exposição à 600 °C, devido a todos os corpos de prova terem sofrido *spalling*. Isso se deve ao traço ter apresentado um comportamento de um concreto de alta resistência, devido à grande presença de finos, onde a liberação da pressão interna de vapor durante o aquecimento é dificultada em função de sua matriz muito compacta. Conforme explicado por LIMA (2005), quando as massas se encontram saturadas a pressão interna de vapor se eleva, ultrapassando a capacidade de liberação de vapores pelos poros e nestes casos, o *spalling* pode ocorrer já nos primeiros 30 minutos de ensaio.

## 4 Conclusões

As resistências dos diferentes traços analisados à temperatura ambiente foram compatíveis com as resistências de dosagem usualmente especificadas na produção de concretos, sendo possível afirmar que o teor de substituição mais adequado nesta pesquisa foi de 20%, pois atingiu-se um patamar de resistência equivalente ao concreto sem substituição. No caso da substituição de 100% da areia por vidro, apesar de atingir-se uma resistência superior, a trabalhabilidade foi altamente prejudicada inviabilizando a moldagem manual dos corpos de prova.

Por outro lado, analisando-se o efeito da exposição dos concretos a elevadas temperaturas, observa-se que a exposição à 600 °C em diferentes intervalos de tempo ocasionou uma redução gradual na resistência à compressão e esta, na maioria dos casos, foi diretamente proporcional ao incremento do tempo de exposição. Em particular, no teor de 20% constata-se um comportamento similar ao concreto sem substituição em todos os tempos de exposição, indicando novamente que este teor seria o mais indicado para os resultados desta pesquisa. No teor de 100%, todos os corpos de prova sofreram *spalling*, provavelmente devido ao acréscimo de pressão nos poros pelo aquecimento, em virtude da evaporação de água e às tensões geradas pelos gradientes de deformações térmicas.

Finalizando, este trabalho apresentou os resultados do estudo exploratório do uso de vidro reciclado como parte do agregado miúdo para fabricação de

concretos, com a finalidade de promover uma reutilização de um material que, em forma de sucata, tem valor de mercado insignificante, tendo como foco principal a degradação pela exposição a elevadas temperaturas.

Entretanto, destaca-se que o vidro tem sílica em sua composição química e, diante disto, a mistura deste material com cimento pode desenvolver uma reação entre os álcalis do cimento com a sílica do vidro que em presença de umidade pode gerar um gel expansivo prejudicial ao concreto. Considerando-se que a utilização de vidro moído no concreto tem um apelo sustentável pela conservação de recursos naturais e diminuição da quantidade de lixo depositado em aterros sanitários e lixões, assim colaborando com o meio ambiente, sugere-se a continuidade deste tema em trabalhos futuros, especificamente em relação à investigação das reações álcali-sílica do vidro com o cimento e à viabilidade econômica de produzir concretos com sucata de vidro a preços competitivos no mercado.

## Agradecimentos

À Universidade Federal do Pampa pelo fomento a esta pesquisa por meio do Programa de Bolsa de Desenvolvimento Acadêmico (PBDA).

## Referências

- ANDERBERG, Y. Fire scenarios & buildings. In: COURSE ON EFFECT OF HEAT ON CONCRETE, 2003, Udine, Itália: International Centre for Mechanical Sciences, 2003. 11p. Apostila.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. NM 248. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da Massa Específica Chapman. NBR 9776. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados para Concreto – Especificação. NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Areia Normal para Ensaio de Cimento – Especificação. NBR 7214. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.
- BARROSO, L. B.; MOHAMAD, G.; LOPES, M. I. P.; MACIEL, A. V. Viabilidade Tecnológica para o Uso do Vidro Moído em Argamassa e Concreto. Anais do 52º Concreto Brasileiro do Concreto. Fortaleza, IBRACON 2010.
- CEMPRE – Consórcio Empresarial para a Reciclagem. Disponível em: <[www.cempre.org.br/](http://www.cempre.org.br/)>. Acesso em: 19/06/2011.
- CRENTSIL, K. S., BROWN, T., TAYLOR, A., Recycled glass as sand replacement in premix concrete, Ed. Eco-Recycled Australia and CSIRO, 2001.
- FERRARI, G.; JORGE, J. Materiais e Tecnologias. São Paulo: Universidade Bandeirantes. (Notas de aula). Disponível em: <<http://ebookbrowse.com/apostila-parte-1rev-materiais-pdf-d108975701>>. Acesso em: 20/01/2010.
- HELENE, P.; TERZIAN, P. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. Ed. Pini, Brasília, 1992.
- KIRCHHOF, L. D. Estudo teórico-experimental da influência do teor de umidade no fenômeno spalling em concretos expostos a elevadas temperaturas. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- LIMA, R. C. A. Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas. 2005. 241f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P.; BARBOZA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. Cerâmica. São Paulo, v. 51, n. 320, p. 318-324, 2005.
- LÓPEZ, D. A. R., AZEVEDO, C. A. P. de. Avaliação da utilização de vidro cominuído como material agregado ao concreto. UNISC – Santa Cruz do Sul; ULBRA. Canoas, 2003.
- MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. Resistência Mecânica do Concreto Adicionado de Borracha de Pneu Submetido à Elevada Temperatura. Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Campinas – São Paulo. 2006.
- MEYER, C., Y. Xi, J. Mater. in Civil Eng. ASCE 11, 2 (1999).
- NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. Tradução de Salvador E. Giannusso.
- SANTOS, A. R. Vidro – Tecnologias para reciclagem. Disponível em: <[www.reciclagem.pcc.usp.br/vidro.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/vidro.htm)>. Acesso em: 20/01/2010.
- SHAO, Y.; LEFORT, T.; MORAS, S.; RODRIGUEZ, D. Studies on concrete containing ground waste glass. Cement and Concrete Research. Elmsford, v. 30, n. 1, p. 91-100, 2000.
- TOPÇU, I. B., CANBAZ, M. Properties of concrete containing waste glass. Cement and Concrete Research. Elmsford, v. 34, n. 1, p. 267-274, 2004.