



## **Avaliação da substituição do agregado miúdo na construção civil através da reciclagem do vidro descartado na coleta seletiva no município de Porto Alegre – RS**

**CAVALLI, Cléo <sup>1</sup>, GSCHWENTER, Viviane L. S. <sup>1</sup>, DAL MOLIN, Denise C. C. <sup>2</sup>, MASUERO, Angela <sup>2</sup>, TUBINO, Rejane M<sup>a</sup>. C. <sup>1</sup>**

<sup>1</sup>PPGE3M/UFRGS (cleocavalli@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>NORIE/UFRGS

### **Resumo**

A proposta deste trabalho visa a avaliação do comportamento do vidro em substituição à areia, nas mesmas faixas granulométricas. A motivação deve-se à falta de areia na região Porto Alegre devido a recentes suspensões de extração, ao baixo preço comercial da sucata de vidro, à dificuldade em proporcionar a destinação final ambientalmente adequada deste resíduo e ao consumo crescente de materiais na construção civil. A metodologia consiste desde a etapa de coleta do resíduo do vidro, a sua preparação até atingir a granulometria da areia e a substituição em massa em diferentes traços. Foram utilizadas duas colorações de vidro, branco e âmbar, testadas em dois ensaios. O primeiro ensaio consistiu na avaliação de durabilidade, de modo a determinar a reatividade dos agregados, natural e alternativo, por meio da reação álcali-agregado pelo método acelerado. No segundo ensaio foi avaliada a resistência através do teste de resistência à compressão. Em ambos os ensaios ocorreram substituição do agregado natural pelo alternativo e comparados os resultados com amostra testemunho (sem substituição). Os resultados indicam a necessidade de adotar alguma medida mitigatória quando da substituição do agregado natural pelos dois tipos de vidros devido ao surgimento de expansões provocadas pela reação álcali-sílica. Além do agregado alternativo, o natural também demonstrou ser potencialmente reativo.

**Palavras-chave:** Vidro. Reação Álcali-Agregado. Resistência à Compressão.

**Área Temática:** Resíduos Sólidos.

## **Evaluation of replacing the fine aggregate in civil construction through recycling glass discharged in selective collection at Porto Alegre city**

### **Abstract**

The purpose of this paper is to evaluate the behavior of sand replaced by glass, in the same particle sizes. The motivation is due to lack of natural sand in Porto Alegre region, Brazil, because recently suspensions extraction, low commercial price of scrap glass, provide environmenttally correct disposal of this waste, and the increasing consumption of materials in civil construction. The methodology of this work starts with the stage of collecting glass waste, the preparation of glass until reach the sand grain size, and then the massive replacement mix. It was used two colors of glass: white and amber. The first test was the evaluation of durability in order to determine the reactivity of aggregates, natural and alternative, by alkali-aggregate reaction by accelerated method. In the second test it was evaluated the strength through compressive strength. In both tests natural sand were replaced by an alternative aggregate and compared the results with control sample (no substitution). The results indicate the difficulty to use these two types of glass due to arise of expansions caused by alkali-silica reaction. Besides the alternative aggregate, the natural also proved to be reactive.

**Key words:** Glass. Alkali-Aggregate Reaction. Compressive Strength.

**Theme Area:** Solid Waste.



## 1 Introdução

Um dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) é a reutilização dos resíduos como alternativa de substituição de matéria-prima em ciclos produtivos. Como vantagens proporcionam benefícios ambiental, econômico e social, pois criam ferramentas que visam o aumento do ciclo de vida, a gestão e o gerenciamento, geração de renda, diminuição de extração de recursos naturais, dentre outros. Torna-se necessário que esta ação seja gerenciada de forma satisfatória, pois se evita a disposição de potenciais matérias-primas em aterros.

O resíduo verificado neste trabalho é o vidro, classificado como um material cerâmico, que por sua característica confere resistência mecânica, porém é frágil. Sua classificação conforme NBR 10004 (ANBT, 2004) é Classe II-B, ou seja, inerte. A areia é um material granular com dimensões entre 4,8mm e 0,075mm, composta por silicatos e, em geral, com predominância de quartzo. Na construção civil é conhecida como agregado miúdo, e é um mineral mundialmente utilizado devido a sua estrutura cristalina.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa de estudo de reciclagem do vidro descartado na coleta seletiva do município de Porto Alegre – RS como potencial fonte de substituição de agregados miúdos em concretos. A justificativa deste trabalho é motivada por quatro razões observadas na região metropolitana de Porto Alegre: o baixo preço da sucata de vidro comercializada nos centros de triagens; a escassez da areia para uso na construção civil no mercado devido, principalmente, a recentes suspensões de extração deste mineral em recursos hídricos (leito de rio); o desenvolvimento de uma proposta de destinação final ambientalmente adequada e o crescente aumento no consumo e demanda por materiais de construção.

A metodologia consiste em preparar o resíduo de vidro descartado na coleta seletiva até atingir a granulometria desejada de agregado miúdo, realizar substituição de teores à areia e avaliação dos resultados a partir dos testes de reação de expansão – reatividade álcali agregado – das barras de argamassa e resistência à compressão mecânica em corpos-de-prova de argamassa. Foram avaliados os comportamentos dos vidros branco e âmbar em diferentes proporções de substituição (traços de 25%, 50%, 75% e 100% para os testes de resistência à compressão mecânica e traços de 50% e 100% para os testes de expansão) e comparados com amostra testemunho (sem substituição).

## 2 Metodologia

### 2.1 Preparo de materiais

O vidro utilizado é proveniente da coleta seletiva realizada no município de Porto Alegre, doado por uma unidade de triagem devidamente credenciada junto ao Departamento Municipal de Limpeza Urbana – DMLU. Foram analisadas duas colorações de vidro na substituição parcial do agregado miúdo, cor branca e âmbar, e as massas específicas da areia e dos vidros foram determinadas conforme disposto na NBR NM 52 (ABNT, 2009). Os resultados encontrados para a areia foram de 2,239 g/cm<sup>3</sup>, vidro branco 2,183 g/cm<sup>3</sup> e vidro âmbar 2,195 g/cm<sup>3</sup>.

O procedimento utilizado consistiu em avaliar o comportamento do resíduo de vidro em substituição aos teores de agregado miúdo em barras de argamassa (2,5 x 2,5 x 28,5 cm) e corpos-de-prova cilíndricos (5x10 cm), também de argamassa.

Inicialmente foi necessário preparar o resíduo de vidro até atingir as faixas granulométricas para se realizar a substituição do agregado miúdo. Esta primeira etapa consistiu na coleta do material na unidade de triagem, lavagem do material, separação por cor, quebra, britagem com auxílio de um britador móvel com mandíbulas, moagem em um moinho de bolas, e por fim, peneiramento.



## 2.2 Reação álcali-agregado (RAA) - Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado

Neste ensaio, a preparação e seleção do agregado miúdo ocorreram conforme procedimento descrito na NBR 15577-4 (ABNT, 2009). A proporção do material seco utilizado para o ensaio das barras de argamassa foi de 440g de cimento CP V-ARI e do agregado miúdo, conforme o traço e teor de substituição da areia, apresentado nas Tabelas 1 a 3. Como os resultados encontrados da densidade tanto da areia quanto dos vidros foram inferiores a 2,45 g/cm<sup>3</sup>, foi adotado procedimento estabelecido nesta norma da ABNT e calculado conforme Equação 1 para a areia e Equação 2 para os vidros. Quanto à relação água/cimento (a/c) foi igual a 0,47 em massa, ou seja, 206,80 g de água e 440 g de cimento.

$$m_{\text{areia}} = 990 \frac{d}{2,65} \quad (\text{equação 1})$$

$$m_{\text{vidro}} = \frac{m_{\text{areia}}}{d_{\text{areia}}} d_{\text{vidro}} \quad (\text{equação 2})$$

Tabela 1: Traço 0% (100% areia) - Granulometria requerida do material para ensaio

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)				Quantidade de material em massa		
ABNT / ASTM	Passante	Retido	%	Areia (g)	Vidro Branco (g)	Vidro Âmbar (g)
8	4,75 mm	2,36 mm	10	83,65	-	-
16	2,36 mm	1,18 mm	25	209,11	-	-
30	1,18 mm	600 µm	25	209,11	-	-
50	600 µm	300 µm	25	209,11	-	-
100	300 µm	150 µm	15	125,47	-	-
TOTAL			100%	836,45	-	-

Tabela 2: Traço 50% (50% areia, 50% vidro) - Granulometria requerida do material para ensaio

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)				Quantidade de material em massa		
ABNT / ASTM	Passante	Retido	%	Areia (g)	Vidro Branco (g)	Vidro Âmbar (g)
8	4,75 mm	2,36 mm	10	41,82	48,26	48,53
16	2,36 mm	1,18 mm	25	104,56	120,65	121,32
30	1,18 mm	600 µm	25	104,56	120,65	121,32
50	600 µm	300 µm	25	104,56	120,65	121,32
100	300 µm	150 µm	15	62,73	72,39	72,79
TOTAL			100%	418,23	482,60	485,28

Tabela 3: Traço 100% (100% vidro) - Granulometria requerida do material para ensaio

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)				Quantidade de material em massa		
ABNT / ASTM	Passante	Retido	%	Areia (g)	Vidro Branco (g)	Vidro Âmbar (g)
8	4,75 mm	2,36 mm	10	-	96,52	97,05
16	2,36 mm	1,18 mm	25	-	241,31	242,64
30	1,18 mm	600 µm	25	-	241,31	242,64
50	600 µm	300 µm	25	-	241,31	242,64
100	300 µm	150 µm	15	-	144,92	145,58
TOTAL			100%	-	965,37	970,55



A moldagem das três barras de argamassa para cada traço e cor de vidro seguiu procedimento proposto pela NBR 15577-4 (ABNT, 2009). Para a mistura dos materiais foi utilizada argamassadeira mecânica com tempo total de execução de 240 segundos. A moldagem foi realizada em fôrmas metálicas especiais revestidas com filme plástico.

Foram moldadas 3 barras para cada um dos traços, resultando num total de 15 barras. O tempo de observação em banho de reagente (solução de NaOH 1 N a 80°C) das barras foi de 28 dias, sendo definido calendário de leituras de variações de comprimento, efetuadas com auxílio de um relógio comparador. Segundo a NBR 15577-4 (ABNT, 2009) as leituras mais importantes são a Leitura Zero (efetuada no 2º dia) e as leituras aos 16 e 30 dias, todas contadas a partir da data da moldagem. Para cada barra foram tomadas duas leituras, sendo a primeira realizada conforme marcação determinada no momento da desmoldagem e a segunda realizada em mesma posição, girando a barra em 180°.

### 2.3 Teste de Resistência à Compressão

A metodologia utilizada para este ensaio foi uma adaptação da NBR 7215 (ABNT, 1997). Esta adaptação foi utilizada pois não existem normas específicas para ensaios em argamassas com vistas à utilização em concretos. O objetivo foi, portanto, verificar a resistência à compressão da argamassa, com diferentes traços e substituição do agregado miúdo por vidro, a fim de estimar e comparar a resistência no concreto.

Para a confecção dos corpos-de-prova foram primeiramente selecionadas e separadas as frações por coloração do vidro e, posteriormente, pelo teor de substituição do vidro pelo agregado miúdo em percentuais de 25, 50, 75 e 100% em massa, respectivamente, e um testemunho onde não ocorreu substituição. Para cada teor de substituição e testemunho foram moldados 4 corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura para a realização do teste de resistência à compressão e rompido aos 28 dias de idade. Foram moldados no total 36 corpos-de-prova.

A quantidade de materiais utilizada está de acordo com o proposto na NBR 7215 (ABNT, 1997) conforme consta na Tabela 4. Os corpos-de-prova foram elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento (CP V-ARI), três de areia, em massa, e com relação água/cimento (*a/c*) de 0,48.

Tabela 4: Quantidade de materiais

Material	Massa para mistura (g)				
	Traço 0%	Traço 25%	Traço 50%	Traço 75%	Traço 100%
Cimento	624	624	624	624	624
Água	300	300	300	300	300
<b>Areia normal</b>					
- fração grossa	468	351	234	117	-
- fração média grossa	468	351	234	117	-
- fração média fina	468	351	234	117	-
- fração fina	468	351	234	117	-
<b>Vidro</b>					
- fração grossa	-	117	234	351	468
- fração média grossa	-	117	234	351	468
- fração média fina	-	117	234	351	468
- fração fina	-	117	234	351	468
<b>TOTAL</b>	<b>1872</b>	<b>1872</b>	<b>1872</b>	<b>1872</b>	<b>1872</b>



### 3 Resultados

#### 3.1 Reação Álcali-Agregado

Conforme Priszkulnik (2005) como resultado da RAA, ocorre a formação de um gel higroscópico expansivo e a manifestação se dá através de diversas formas como expansão, movimentação diferencial nas estruturas e fissurações, bem como exsudação de gel e redução das resistências à tração e compressão. O tipo de reação observada neste ensaio é a álcali-sílica, sendo uma reação química que envolve íons alcalinos e hidroxilas, originários na hidratação do cimento e do agregado, cuja fase mineralógica contenha sílica na forma amorfa, como é o caso de certos tipos de vidros naturais (vulcânicos) e artificiais.

Conforme Fava (1987) e Hobbs (1988) (apud ANDRADE, 1997) uma das teorias mais aceitas que explica o mecanismo de reação na reação álcali-sílica é a da pressão osmótica. Andrade (1997) explica este processo de pressão osmótica conforme descrito:

1º) Os componentes alcalinos presentes no cimento se dissolvem na água de amassamento no momento da preparação do concreto.

2º) A concentração da solução aumenta com o progresso da hidratação do cimento no interior do concreto.

3º) A solução tende a ficar fortemente básica e ataca as partículas suscetíveis do agregado reativo.

4º) Ocorre a produção de uma substância viscosa (gel higroscópico).

5º) O gel por ser higroscópico tende a atrair as moléculas aquosas, as quais migram através da pasta de cimento.

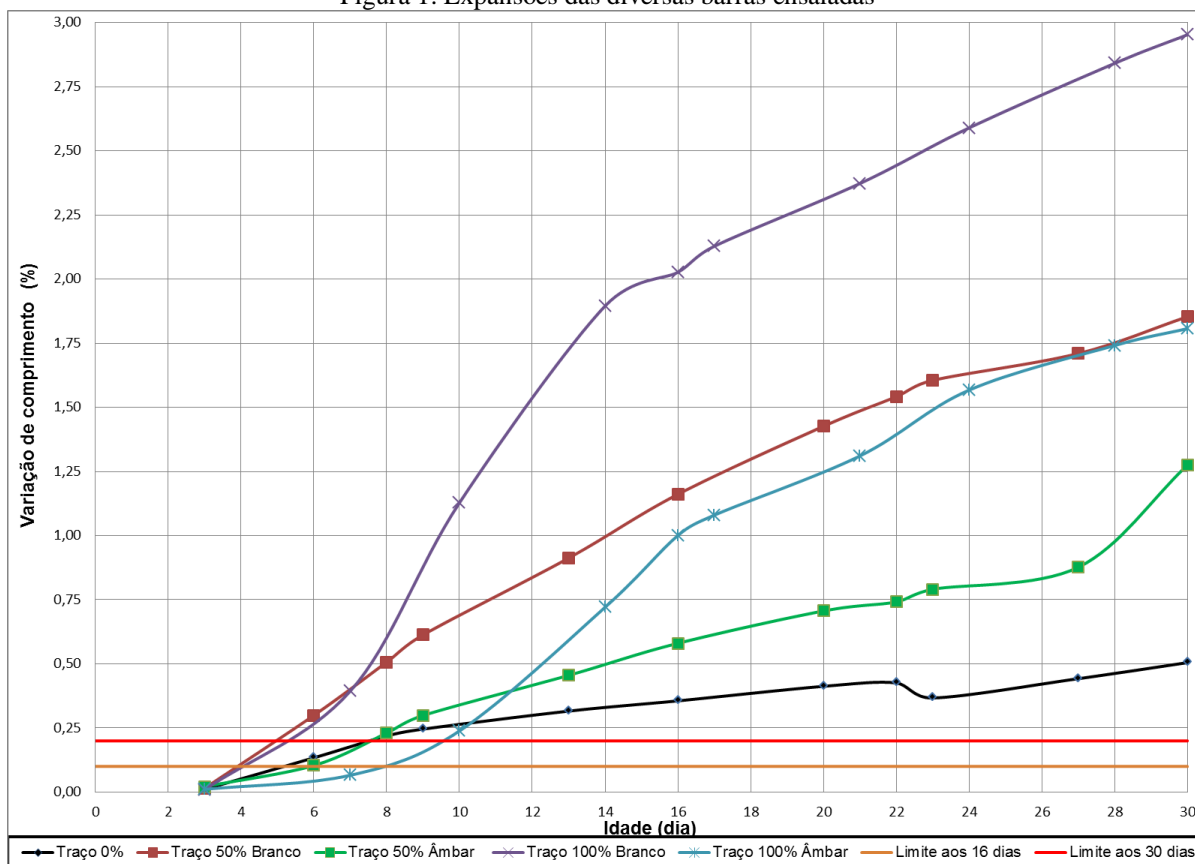
Na Tabela 5 estão representadas as expansões médias e na Figura 1 estão representados graficamente os percentuais de expansões observadas durante o período de 28 dias.

Tabela 5: Expansões médias

	<b>Traço 0%</b>	<b>Traço 50% Branco</b>	<b>Traço 50% Âmbar</b>	<b>Traço 100% Branco</b>	<b>Traço 100% Âmbar</b>
idade (dias)	expansões (%)	expansões (%)	expansões (%)	expansões (%)	expansões (%)
3	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
6	0,13	0,30	0,10	-	-
7	-	-	-	0,39	0,07
8	0,22	0,51	0,23	-	-
9	0,25	0,61	0,30	-	-
10	-	-	-	1,13	0,24
13	0,32	0,91	0,46	-	-
14	-	-	-	1,90	0,72
16	0,36	1,16	0,58	2,03	1,00
17	-	-	-	2,13	1,08
20	0,41	1,43	0,71	-	-
21	-	-	-	2,37	1,31
22	0,43	1,54	0,74	-	-
23	0,37	1,61	0,79	-	-
24	-	-	-	2,59	1,57
27	0,44	1,71	0,88	-	-
28	-	-	-	2,84	1,74
30	0,50	1,85	1,28	2,95	1,81



Figura 1: Expansões das diversas barras ensaiadas



A NBR 15577-4 (ABNT, 2009) menciona que não há dados estatísticos históricos suficientes necessários para se calcular os valores de repetitividade e reprodutibilidade da metodologia deste ensaio. Na falta destas informações a NBR sugere que sejam utilizados os propostos pelas normas que serviram de base para definição desta metodologia, a norma da ASTM C 1260 e CSA A23.2-25A. Segundo Andrade (1997) a norma ASTM C 1260 estabelece que as expansões médias abaixo de 0,10% aos 14 dias (16º dia a partir da moldagem) de imersão em solução indica na maioria das vezes que a reação é inócua, e expansão acima de 0,20% na mesma idade evidencia um comportamento deletério. Esta norma também sugere que se até os 14 dias (16º dia a partir da moldagem) os valores estiverem entre 0,10 e 0,20% o ensaio deverá ser prolongado até os 28 dias (30º dia a partir da moldagem).

Desta forma verifica-se que em todos os traços, inclusive no traço testemunho, a média das expansões foi superior a 0,20% antes dos 16 dias do andamento do experimento. Devido a este comportamento, em todos os traços pode ser observado comportamento deletério, resultado que confere caráter potencialmente reativo dos agregados, natural e alternativo, com os álcalis do cimento CP V-ARI.

Ao longo do experimento pode ser observado que nas barras onde ocorreram substituições pelo agregado alternativo foram desenvolvidas fissuras e que foram aumentando com o andamento do ensaio.

A provável reação ocorrida com a areia natural é a reação álcali-silicato, uma reação semelhante à álcali-silica, porém mais lenta conforme Andrade (1997). A expansão ocorre principalmente devido à reação entre os álcalis do cimento com silicatos existentes na composição do agregado, como é o caso do quartzo e feldspatos. Conforme resultado encontrado no trabalho realizado por Tiecher e Dal Molin (2006) com 39 tipos diferentes de





agregados e 4 cimentos Portland, verificou-se que todos os agregados foram considerados reativos com o cimento CP V-ARI, inclusive a areia de rio. Porém a expansão ocorreu em velocidade mais lenta se comparada aos outros agregados.

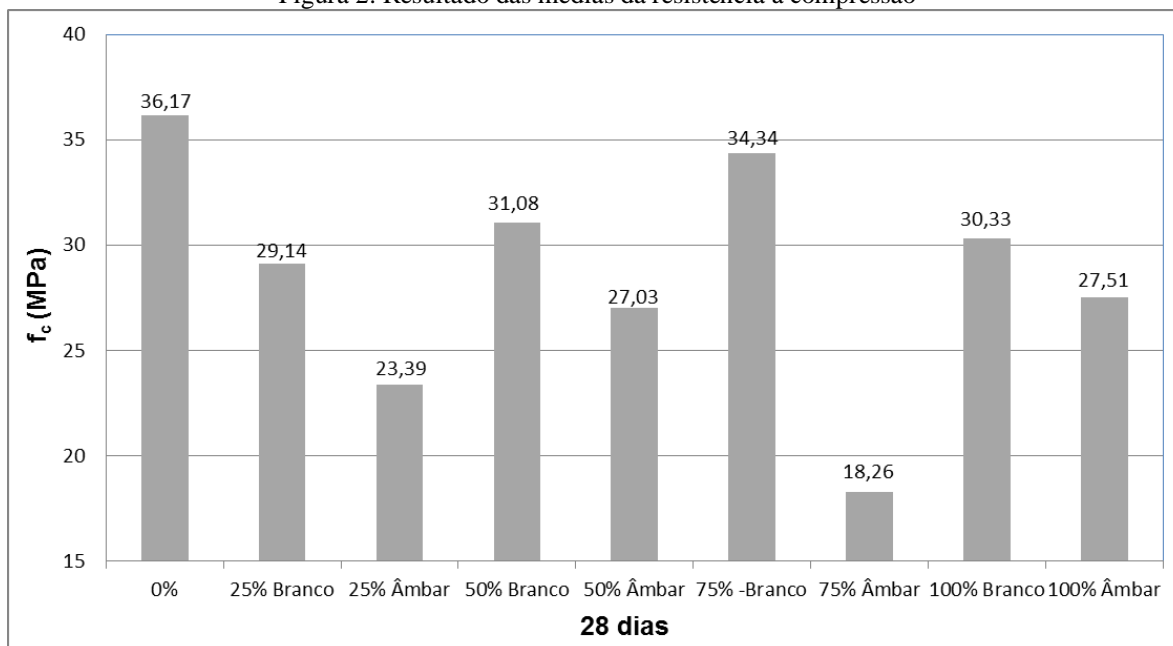
### 3.2 Teste de Resistência à Compressão

Aos 28 dias os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão para avaliar a resistência nesta idade. Os resultados finais foram obtidos a partir da média realizada entre os 4 corpos-de-prova de cada teor e estão apresentados na Tabela 6 e Figura 2. Foram calculados também o desvio padrão e o desvio relativo máximo.

Tabela 6: Resultados da resistência à compressão

Traços	Resistência média – 28 dias (MPa)	Desvio Padrão	Desvio relativo máximo (%)
Traço 0% (testemunho)	36,17	7,68	31,2
Traço 25% Branco	29,14	7,09	33,6
Traço 25% Âmbar	23,39	6,55	29,5
Traço 50% Branco	31,08	3,00	12,0
Traço 50% Âmbar	27,03	2,33	11,2
Traço 75% Branco	34,34	3,63	11,4
Traço 75% Âmbar	18,26	2,05	15,2
Traço 100% Branco	30,33	5,76	27,1
Traço 100% Âmbar	27,51	1,43	7,1

Figura 2: Resultado das médias da resistência à compressão



Ao analisar os dados obtidos pelas médias da resistência à compressão, verifica-se que com a adição do vidro branco não ocorreram significativas diminuições nos resultados. Os valores de resistências mais baixas foram encontrados com o vidro âmbar, onde em todos os traços o resultado médio foi inferior aos do vidro branco. Pode-se verificar, portanto, que nos traços onde foi utilizado vidro branco a resistência à compressão foi maior.



#### 4 Conclusão

O ensaio acelerado de RAA é uma importante ferramenta de avaliação do potencial comportamento de reação do agregado miúdo quando misturado com cimento e água. Neste trabalho, pode-se concluir que todos os agregados foram potencialmente reativos em menos de 16 dias após a moldagem. Verificou-se que a expansão e desenvolvimento de fissuras nas barras de argamassa conferem ao resíduo de vidro de ambas colorações como potencial agente da reação álcali-sílica. Porém, ao vidro de cor âmbar constatou-se que a reação foi de menor intensidade se comparada à cor branca.

Quanto à resistência à compressão verificou-se que a adição do resíduo de vidro conferiu diminuição da resistência mecânica à compressão, porém a adição do vidro branco resultou em quedas de resistências menores que as do âmbar.

Desta forma, constata-se que a reciclagem através da substituição do vidro sem a utilização de agentes inibidores da expansão, pode vir a alterar e comprometer a qualidade do concreto. Torna-se necessário a utilização de material pozolânico para inibir este tipo de reação, onde teores ótimos de substituição deverão ser analisados. Sugerem-se, além de estudos com adição de pozolanas, ensaios testando o comportamento destes agregados com outros tipos de cimentos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Unidade de Triagem Vila Pinto pelo fornecimento do vidro, aos laboratórios NORIE e LTM da UFRGS por oferecerem suas instalações e recursos para o desenvolvimento da pesquisa, ao LEAmet por fornecimento de material e recursos, ao CNPq e ao PPGE3M/UFRGS.

#### Referências

ANDRADE, W. P. **Concretos**: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades. Autores Equipe de Furnas, Laboratório de Concreto, Departamento de Apoio e Controle Técnico; editor Walton Pacelli de Andrade. São Paulo: Pini, 1997.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 18 jul. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52:2009**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15577-4**: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2009.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS, 2005.

TIECHER, F; DAL MOLIN, D. C. C. Método de ensaio da ASTM C 1260: Avaliação das idades prescritas para o estabelecimento da potencialidade reativa dos agregados. In: II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBRACON, 2006.