

## Concreto produzido com parte de resíduo de vidro na ilha de Fernando de Noronha-PE

*Concrete made with waste glass on the island of Fernando de Noronha-PE*

Ângelo Just da Costa e Silva (1); Rodrigues Barbosa (2); João Manoel F. Mota (3); João Ribeiro de Carvalho (4)

(1) Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, UNICAP - email: [angelo@unicap.br](mailto:angelo@unicap.br)

(2) Professor do Departamento de Engenharia Civil da FAVIP, Engenheiro da COMPESA e Mestrando do Departamento de Engenharia Civil, UFPE - email: [fredrbarbosa@iq.com.br](mailto:fredrbarbosa@iq.com.br)

(3) Professor do Departamento de Engenharia Civil da FAVIP e Doutorando do Departamento de Engenharia Civil, UFPE - email: [joao@vieiramota.com.br](mailto:joao@vieiramota.com.br);

(4) Graduando de Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, POLI – email: [eng.jribeiro@gmail.com](mailto:eng.jribeiro@gmail.com)

### Resumo

A indústria da construção civil passa por um processo de transformação onde tenta se adequar aos padrões de desenvolvimento sustentável requeridos na atualidade. Esta ação representa um grande desafio, uma vez que esta indústria é responsável por um grande consumo de matéria-prima. Observa-se que este desafio assume características ainda mais relevantes quando são consideradas as condições de obtenção de matéria-prima para locais de difícil acesso, como acontece com as ilhas e arquipélagos. Nestas circunstâncias, os agregados miúdos e graúdos utilizados para a produção do concreto não estão disponíveis próximos ao local de produção, provocando um acréscimo substancial no custo de produção do concreto; principalmente devido à logística para aquisição e transporte. Além disso, há que se considerar o risco associado à produção de resíduos nestas áreas, em especial no Arquipélago de Fernando de Noronha, onde se observa uma elevada quantidade de vidro sendo lançada para coleta seletiva e necessitando de uma destinação adequada. Como alternativa, este trabalho avalia a viabilidade de utilização de vidro como agregado miúdo para a produção de concreto. Foram produzidas três famílias de amostras, sendo uma com 100% de pó de vidro como agregado miúdo, uma segunda com 50% de substituição do agregado natural por pó de vidro e uma última com 100% de agregado natural, a qual serviu como referência para as avaliações comparativas de resistência à compressão aos 7 e 28 dias. Os ensaios realizados indicam um grande potencial de utilização do pó de vidro para a produção tanto de concretos estruturais como não estruturais.

*Palavra-Chave: desenvolvimento sustentável, concreto verde, resíduo de vidro*

### Abstract

The construction industry is going through a transformation process where it tries to adapt to sustainable development standards required today. This action represents a major challenge, since this industry is responsible for a large consumption of raw material. Observe that this challenge takes on features even more relevant when we consider the conditions for obtaining raw material for hard to reach places, like the islands and archipelagos. Under these circumstances, and coarse aggregates used in the production of concrete are not available near the site of production, causing a substantial increase in production cost of concrete, mainly due to acquisition logistics and transportation. Furthermore, we must consider the risk associated with waste production in these areas, especially in the Archipelago of Fernando de Noronha, where we observe a large amount of glass being released to collection and requiring proper disposal. Alternatively, this study evaluates the feasibility of using glass as fine aggregate for concrete production. Three families were produced from samples, one with 100% of powdered glass as fine aggregate, a second with 50% replacement of natural aggregate by glass powder and a last with 100% natural aggregates, which served as reference for benchmarking compressive strength at 7 and 28 days. The tests indicate a great potential for use of powdered glass to produce both structural and non structural concrete.

*Keywords: sustainable development, green concrete, glass waste*

## 1 Introdução

A elevada produção de resíduos sólidos é um problema mundial. Encontrar soluções adequadas para a disposição final dos resíduos provenientes das diversas indústrias representa um grande desafio para o meio científico e tecnológico, tendo em vista os graves problemas ambientais que podem ser gerados por uma disposição inadequada.

A gestão de resíduos assume características ainda mais relevantes quando analisada sob a ótica de áreas como ilhas e arquipélagos. Nestes ambientes a necessidade de desenvolver uma forma sustentável de interação com o meio ambiente torna-se vital para garantir a sobrevivência das comunidades.

Outro aspecto que merece destaque encontra-se na complexidade em gerir a extração de recursos naturais nestas áreas, uma vez que são muito escassos. Quando esta avaliação recai sobre as práticas da indústria da construção civil, onde o consumo destes recursos é significativo, a logística para os suprimentos pode assumir caráter decisivo na viabilidade dos empreendimentos.

Para ilustrar esse fenômeno, pode-se considerar a escassez de areia no Arquipélago de Fernando de Noronha e o alto custo do frete marítimo (média de R\$0,80/kg). Considerando para a areia uma densidade média de  $1.500 \text{ kg/m}^3$  torna-se evidente o impacto provocado por este insumo na cadeia produtiva, além da necessidade de encontrar formas para substituir este recurso por outro de menor valor agregado.

Fernando de Noronha é um arquipélago vulcânico isolado no Atlântico Equatorial Sul, constituído por 21 ilhas, ilhotas e rochedos de natureza vulcânica. Sua ilha principal possui uma área de  $18,4 \text{ km}^2$  cujo maior eixo possui cerca de 10 km, largura máxima de 3,5 km e perímetro de 60 km. A ilha principal, cujo nome é o mesmo do arquipélago, constitui 91% da área total, destacando-se ainda as ilhas Rata, Sela Gineta, Cabeluda, São José e as ilhotas do Leão e da Viúva. Estudos realizados demonstram que a formação do arquipélago data de dois a doze milhões de anos. As figuras 1 e 2 apresentam detalhamentos de localização do arquipélago.

Tais características apenas reforçam a gravidade do problema em pauta, uma vez que o acúmulo de resíduos em uma área tão pequena poderá provocar danos irreparáveis ao ecossistema da ilha. Soluções alternativas devem ser buscadas, principalmente sob o enfoque do reaproveitamento dos resíduos gerados na ilha.



Figura 1 – Posicionamento geográfico do Arquipélago de Fernando de Noronha



Figura 2 – Detalhe do Arquipélago de Fernando de Noronha

Dentre os diversos resíduos gerados, o vidro assume um papel relevante, uma vez que sua produção anual no Brasil ultrapassa o patamar de 800.000 toneladas, dos quais apenas cerca de 220 mil toneladas (27,6%) são alvo de processos de reaproveitamento (CEMPRE, 2007).

A utilização de embalagens de vidro no arquipélago de Fernando de Noronha não foge às características observadas no restante do país, contudo há o agravante em relação ao descarte deste material, uma vez que são elevados os custos relativos ao frete marítimo para garantir a disposição deste resíduo no continente.

De uma forma geral, a quantidade de vidro recolhida no arquipélago gera o equivalente a 1,73 m<sup>3</sup>/dia de pó de vidro, ou seja, cerca de 52,50 m<sup>3</sup>/mês deste material. Remover este volume para o continente implicaria em uma despesa equivalente a R\$ 700.000,00 por ano, apenas com o transporte marítimo.

No continente, o principal mercado para a sucata de vidro é formado pelas vidrarias, que compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem o material diretamente

em suas campanhas de reciclagem. Porém, a reciclagem de vidro tem vários fatores limitantes como impurezas, custos de transporte proibitivos e mistura de sucatas de cores diferentes que são difíceis de serem separadas.

Em que pesem tais fatores limitantes, a reciclagem do vidro desponta como uma solução desejável para ambientes como ilhas e arquipélagos. Segundo o Conama (2007), o vidro é classificado como resíduo reciclável para outras destinações. Ele deverá ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário, sendo disposto de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Dentro da indústria da construção civil, a produção de concreto surge como um celeiro potencial para absorver alguns tipos de resíduos. O uso de outros materiais no concreto, na forma de agregados fino ou grosseiro já foi estudado por vários pesquisadores. Alguns desses materiais são adicionados com o intuito de melhorar as características mecânicas dos concretos como a sílica, misturas de materiais pozolânicos, cinzas, pó de basalto, escórias, etc. (BABU, PRAKASH, 1995). Outros simplesmente são adicionados para utilizar a capacidade de encapsulamento do concreto, que por sua vez pode estar destinada à diminuição da periculosidade do material agregado (adição de resíduos classe I) ou diminuição da quantidade de material destinado ao aterro (adição de diferentes tipos de produtos poliméricos).

O uso de vidro já foi estudado e atualmente existem países utilizando este material como agregado fino no concreto. Como exemplos das diversas pesquisas realizadas, destacam-se os estudos de Polley et al. (1998), de Shao et al. (2000) e Babu e Prakash (1995). Os primeiros pesquisaram o uso de vidro reciclado como substituto do agregado fino (areia) no concreto chegando a resultados satisfatórios, já os segundos pesquisaram o uso de sílica, vidro finamente moído e cinzas volantes, mas em substituição ao cimento adicionados em proporções de até 30% em peso com tamanho de partícula abaixo de 0,15 mm. Esses autores verificaram que o concreto produzido com a adição de vidro finamente moído ( $<75 \mu\text{m}$ ) tinha suas propriedades mecânicas melhoradas em função de reações pozolânicas. Para faixas mais grosseiras, o concreto produzido apresentava problemas de aumento de volume gerados pela reação álcali/sílica.

Babu e Prakash (1995) constataram que o vidro pode influenciar a qualidade do concreto por outros efeitos que não o pozolânico e o da reação álcali/sílica. Verificou-se que o benefício da adição do vidro estava relacionado ao preenchimento de vazios entre os grãos do agregado fino (melhora do empacotamento das partículas). Já o efeito pozolânico aconteceria com vidros de granulometria fina ( $<75 \mu\text{m}$ ), uma vez que as partículas finas favorecem uma rápida e benéfica reação pozolânica. Para vidros com granulometria grosseira ( $> 0,75 \text{ mm}$ ), a reação álcali/sílica aconteceria preferencialmente.

Como exemplos da utilização de vidro em escala real, pode-se destacar o exemplo da Austrália que já utiliza o vidro moído proveniente do lixo em concretos para construção (CRENTSIL, K. S, BROWN, T, TAYLOR, 2001 apud LÓPEZ, AZEVEDO, BARBOSA

NETO, 2005) e ainda do estado norte-americano de Nova York que já apresenta recomendações para o uso deste material em concretos.

O presente trabalho busca contribuir para esta discussão através de uma avaliação comparativa de desempenho mecânico para diferentes famílias de concreto, onde parte do agregado fino natural é substituída por pó de vidro.

## 2 Materiais Utilizados e Metodologia

### 2.1 Caracterizações dos Materiais

#### 2.1.1 Cimento Portland

Foi utilizado nesta pesquisa o cimento CP II F 32, cujas características fornecidas pelo fabricante constam da tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do cimento utilizado.

Determinação		CPII-F-32	
Caracterização Física	Água para consistência normal (%)	28,8	
	Área específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3780	
	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,10	
	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	*NI	
	Finura	Resíduo na peneira #200 (%)	2,60
		Resíduo na peneira #325 (%)	11,30
	Tempo de Pega	Início (min)	255
		Fim (min)	320
	Resistência à Compressão	3 dias (MPa)	26,4
		7 dias (MPa)	31,9
28 dias (MPa)		38,0	
Caracterização Química (%)	Perda ao fogo	4,06	
	Resíduo insolúvel	1,53	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,53	
	SiO <sub>2</sub>	18,52	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,11	
	CaO	60,95	
	MgO	3,26	
	SO <sub>3</sub>	3,34	
	CaO livre	0,89	
	Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O	*NI	

\*NI = Não Informado

### 2.1.2 Agregados Utilizados

Os agregados naturais utilizados, tanto miúdo quanto graúdo, possuem natureza mineralógica quartzosa. Ambos representam os materiais que são comercializados em Fernando de Noronha. O agregado graúdo foi caracterizado quanto a sua granulometria e densidade de massa aparente no estado seco.

O agregado artificial para este estudo foi produzido a partir de resíduo de vidro proveniente do processo de coleta seletiva de resíduos sólido domiciliares, atualmente implantado em Fernando de Noronha. O processo de preparação do agregado consistiu em submeter o resíduo de vidro à trituração em moinho de martelo até obter-se uma granulometria semelhante à do agregado miúdo natural.

As tabelas 2 a 4 apresentam as principais características dos agregados utilizados e a figura 3 representa a curva granulométrica da areia.

Tabela 2 – Características da areia natural e brita 1

Característica	Areia	Brita 1
Densidade de Massa Aparente (kg/dm <sup>3</sup> )	1,47	1,43
Módulo de Finura	2,25	6,94
Coefficiente de Uniformidade (C = d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub> )	3,00	1,40

Tabela 3 – Características da areia artificial – pó de vidro

Característica	Pó de Vidro
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,47
Massa Unitária Agregado Solto (g/cm <sup>3</sup> )	1,53
Massa Unitária Agregado Úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1,29
Teor de Umidade (%)	4,00
Módulo de Finura	2,76
Diâmetro Máximo (mm)	4,80

Tabela 4 – Composição granulométrica da areia e brita utilizadas.

Peneiras (mm)	Areia (%retida)	Pó de Vidro (%retida)	Brita 1 (% retida)
25	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,30
12,5	0,00	0,00	49,50
9,5	0,00	0,00	43,90
6,3	0,10	0,00	6,20
4,8	0,90	0,15	0,10
2,4	3,20	12,80	0,00
1,2	8,10	18,80	0,00
0,6	26,30	27,85	0,00
0,3	37,40	20,05	0,00
0,15	16,50	11,10	0,00
0,01	7,50	9,25	0,00

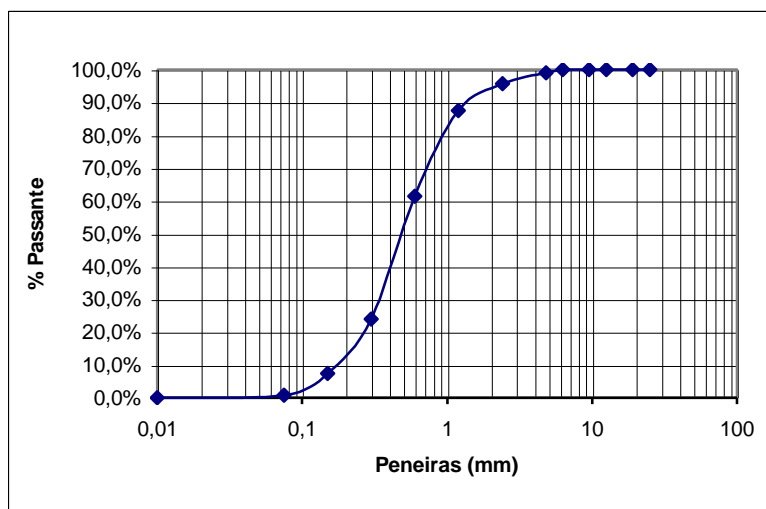


Figura 3 – Curva granulométrica da areia natural

## 2.2 Arranjo Experimental

O trabalho consistiu em avaliar o desempenho dos concretos produzidos com substituição gradativa de agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo artificial (pó de vidro).

A primeira fase do experimento consistiu na definição dos parâmetros principais de análise para este estudo, assim foram definidas as principais características do concreto a ser dosado, bem como as famílias que seriam alvo do estudo.

Optou-se pela utilização de 3 (três) famílias de estudo, mantendo-se um mesmo traço base. Estas famílias diferem entre si pelo proporcionamento entre os teores de agregados miúdos naturais e artificiais. A tabela 5 apresenta as características das famílias produzidas.

Tabela 5 – Famílias de Concreto produzidas para o estudo.

Famílias de Concreto	TUM (c: a: vd: b: a/c)	Proporção vidro - areia
Família 1	1: 0: 1,95: 2,90: 0,55	100 – 0
Família 2	1: 0,97: 0,97: 2,90: 0,55	50 – 50
Família 3	1: 1,95: 0: 2,90: 0,55	0 – 100

Para cada família foram moldados 15 corpos-de-prova de 10 cm x 20 cm. A moldagem seguiu os procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 1994) e o adensamento mecânico foi executado em duas camadas. Todos os CP's moldados foram imersos em tanque de cura após 24 horas da moldagem e permaneceram neste estado até 24 horas antes da realização dos ensaios.

O traço utilizado foi especificado para atender a classe de agressividade II, conforme os parâmetros prescritos na NBR 6118 (ABNT, 2004). A tabela 6 apresenta uma descrição para os parâmetros considerados.

Tabela 6 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ <b>0,60</b>	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de resistência do concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ <b>C25</b>	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Para cada uma das famílias estudadas foram avaliados os seguintes parâmetros: consistência da mistura no estado fresco e densidade e resistência à compressão no estado endurecido.

## 2.2.1 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados nas idades de 7 e 28 dias, segundo a NBR 5739 (ABNT, 1980). O equipamento utilizado foi uma prensa eletromecânica com carga máxima para 100 toneladas, com sistema de medição digital, acoplado a um microcomputador com impressora, para processamento e obtenção dos resultados.

A tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de compressão realizados para cada uma das famílias estudadas.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão para as famílias estudadas.

Famílias	Proporção vidro – areia	Resistência à Compressão: média aos 7 dias (MPa)	Resistência à Compressão: média aos 28 dias (MPa)	Abatimento (mm)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
1	100 – 0	10,5	18,3	140	2191
2	50 – 50	15,0	25,4	110	2310
3	0 – 100	22,0	31,2	115	2414

## 3 Análise dos Resultados

### 3.1 Ensaio de Resistência à Compressão

A figura 4 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão para cada uma das famílias estudadas.

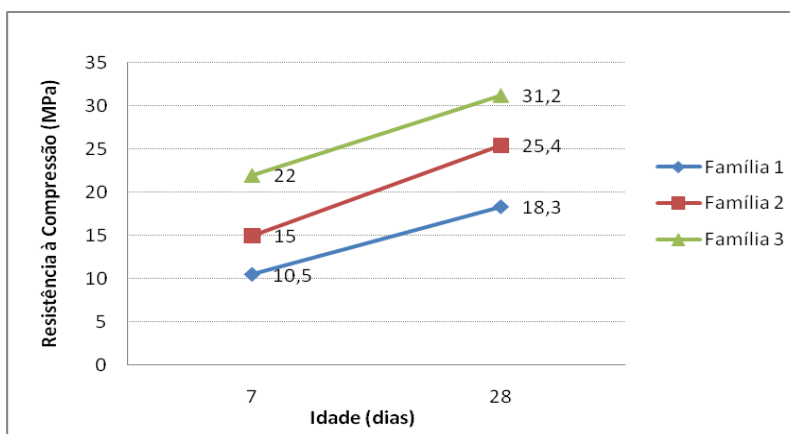


Figura 4 – Resultados de resistência à compressão

Os resultados demonstram que o melhor desempenho foi obtido para a família 3 onde o percentual de pó de vidro na mistura é de 0% e o de areia natural é de 100%, aqui tomada como referência por representar o procedimento tradicional de execução (ver tabela 7).

Contudo, as avaliações realizadas também indicam desempenhos satisfatórios para a utilização do pó de vidro em substituição à areia natural, principalmente para a família 2 onde os teores empregados foram de 50%-50%. Observando-se os resultados expressos na figura 4 pode-se verificar que a diferença de resultados entre as famílias 2 e 3 foi significativamente reduzida entre as idades de 7 dias (rendimento de 68,2%) e 28 dias (rendimento de 81,4%).

Além disso, há que se considerar que os valores obtidos para a família 2 já indicam a possibilidade de utilização da mistura para a produção de concretos estruturais, tendo em vista a pequena variação dos resultados dos diversos corpos-de-prova feitos para esse traço, caracterizando a uniformidade da mistura.

Para os ensaios na família 1, com a utilização de 100% de agregado fino artificial de pó de vidro, observa-se que os resultados se mostraram inferiores aos demais, cerca de 30% abaixo daqueles obtidos para a família 2 e cerca de 50% abaixo daqueles obtidos para a família 3.

Em que pese restarem dúvidas em relação ao processo de produção do pó de vidro, ou seja, da possibilidade de melhorar a granulometria do material para garantir um desempenho satisfatório da mistura, verifica-se a possibilidade de utilização deste material na produção de concretos massa ou concretos não estruturais.

Nesta análise outros pontos precisam ser considerados, pois o desempenho mecânico é apenas um dos fatores a serem considerados no estudo comparativo destas misturas, uma vez que a garantia da viabilidade deste procedimento permite não apenas que seja evitada uma disposição inadequada de resíduos no arquipélago como também uma redução direta de custos operacionais com transporte destes resíduos para o continente, além dos custos relacionados com a destinação final, já no continente. Além disso, surgem outros benefícios indiretos, pois a utilização do pó de vidro poderá implicar no desenvolvimento de mão-de-obra para aperfeiçoar os procedimentos de coleta seletiva do vidro, bem como o procedimento de cominuição do vidro, gerando impactos também na economia.

#### **4 Conclusões**

É incontestável a importância de uma gestão segura e eficiente para a disposição final dos resíduos sólidos gerados. Dentre as diversas possibilidades, a reutilização dos resíduos desponta como uma alternativa segura e eficiente para esta problemática.

Além disso, a indústria da construção civil pode assumir papel de destaque nesta avaliação, uma vez que possui elementos capazes de absorver boa parte dos resíduos gerados não apenas em seus processos produtivos, como também oriundos de outras indústrias. O principal elemento desta indústria é o concreto e sua relevância pode ser entendida em decorrência do seu potencial de estabilizar diversos tipos de resíduos.

Embora existam alguns procedimentos para a reutilização do vidro, em ambientes como ilhas e arquipélagos, onde a dificuldade de obtenção de matéria-prima para o concreto, aliada aos elevados custos de transporte marítimo para estes insumos pode representar um fator de decisão para os investimentos na cadeia produtiva da construção civil, verifica-se a viabilidade da utilização do pó de vidro em substituição parcial ou total da areia natural para a produção de concretos.

Os resultados obtidos para a substituição parcial foram inferiores aos do concreto de referência (família 3), entretanto a possibilidade de utilização para fins estruturais não é descartada visto que seu resultado deu 25,4 Mpa aos 28 dias. Além disso, os resultados relativos à substituição total, embora significativamente inferiores aos da mistura de referência, ainda representam a possibilidade de utilização deste tipo de mistura para a produção de concretos não estruturais ou concretos massa.

Destacam-se ainda alguns benefícios indiretos em decorrência da aplicação desta metodologia, uma vez que o desempenho mecânico é apenas um dos fatores a serem considerados no estudo comparativo destas misturas, pois garante apenas a utilização das misturas para fins estruturais. Há que se considerar no processo que os resultados positivos implicam em uma garantia da viabilidade deste procedimento por permitir não apenas que seja evitada uma disposição inadequada de resíduos no arquipélago de Fernando de Noronha como também garantirá uma redução direta de custos operacionais com transporte destes resíduos para o continente, além dos custos relacionados com a destinação final, já no continente.

Análises sob o enfoque social permitem inferir que outros benefícios indiretos podem surgir, pois a utilização do pó de vidro poderá implicar no desenvolvimento de mão-de-obra para aperfeiçoar os procedimentos de coleta seletiva do vidro, bem como o procedimento de cominuição do vidro, gerando impactos também na economia.

## 5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738/2003 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. ABNT/CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, CE-18:301.03 - Comissão de Estudo de Ensaio Físicos para Concreto Fresco, Rio de Janeiro, 2003.

BABU, K. G, PRAKASH, P.V. Cement and Concrete Research. **25**, 6. 1995.



Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2011  
Novembro / 2011



@ 2011 - IBRACON - ISSN 2175-8182

CEMPRE, Consórcio Empresarial para a Reciclagem, [www.cempre.org.br](http://www.cempre.org.br), Internet em 15/04/2002.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em: jun. 2010.

CRENTSIL, K. S; BROWN, T.; TAYLOR, A. Recycled glass as sand replacement in premix concrete, Ed. Eco-Recycled Australia and CSIRO. 2001.

LÓPEZ, D. A. R, AZEVEDO, C. A. P, BARBOSA NETO, E. Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. Revista Cerâmica Nº 51. 2005.

POLLEY, C; CRAMER, S. M; DE LA CRUZ, R. V; MATER, J. Civil Engineering. ASCE **10**, 1998.

SHAO, Y.; LEFORT, T.; MORAS, S.; RODRIGUES, D. Cement and Concrete Research. **30**, 2000.