



Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC -
como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil



Propriedades Mecânicas do Concreto Com Adição de Vidro Reciclado

Carlos Cabreira Gomes (1), Fernando Pelisser (2).

(1) Acadêmico do curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense.

(2) Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Av. Professor Nicolau D. Napoleão, 30/102, Bairro Jardim Angélica – Criciúma/SC
CEP: 88.800-000.

RESUMO

A reciclagem é hoje uma das alternativas sustentáveis nos mais diversos setores da indústria, e proporciona a continuidade dos aspectos sociais, econômicos e ambientais. Este trabalho teve como objetivo principal analisar as propriedades mecânicas do concreto com a reutilização de retalhos de vidro, que são as sobras das vidraçarias, em sua maioria provenientes da indústria da construção. Nesse estudo foi utilizado o pó de vidro na composição do concreto, adotando como variável a concentração de vidro adicionado de 0%, 3%, 6% e 9% (referentes à massa peso de cimento). Para análise, foram realizados ensaios de plasticidade, de resistência à compressão e de módulo de deformação por compressão. Com os resultados obtidos nos ensaios de Compressão Axial e de Módulo de Elasticidade por compressão nota-se que a variação entre as amostras com as diferentes adições de vidro ficou próxima à 5% em relação à amostra padrão com 0% de adição. Esta pequena variação mostra a inviabilidade do uso do vidro no que se refere à melhoria das propriedades do concreto, porém sendo alternativa viável para a utilização dos retalhos de vidro.

Palavras-Chave: *pó de vidro; propriedades mecânicas; reciclagem.*



1-INTRODUÇÃO

Com o aquecimento da indústria da construção civil nas últimas décadas, o concreto passou a ser um dos produtos mais utilizados em todo o mundo. Como o concreto é um produto composto da mistura do cimento com agregados, é crescente a preocupação com a extração destes agregados para o concreto, que são matérias primas naturais com diferente granulometria, e com um percentual em volume superior ao volume de cimento.

Com o intuito de contribuir para a preservação do meio ambiente, cada vez mais se utilizam materiais recicláveis que possam melhorar as características físicas e químicas do concreto, tornando-o ainda mais eficiente.

Neste contexto, a sucata de vidro tem muito a contribuir, pois se trata de um material reciclável, com baixíssimo custo, e tem em sua composição, grande quantidade óxido de sílica e de cálcio, podendo apresentar características pozolânicas, melhorando as propriedades mecânicas do concreto. O material pozolânico é definido pela ASTM C 618 (1978) e pela NBR 12653 (ABNT, 1992) [1] (ISAIA, 2005) como um material silicoso ou sílico-aluminoso que por si só possui pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, mas, quando finamente dividido e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, á temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentantes.

Sabe-se que a utilização de resíduos de vidro como agregados em concreto pode causar expansão e rachaduras devido à reação deletéria álcali-agregado –[2] ASR (Saccani e Bignozzi, 2010; [3] Park e Lee, 2004). Esse tipo de degradação depende da concentração e da composição química do vidro utilizado [2] (Saccana e Bignozzi, 2010). Estudos mostram que a expansão depende, dentre outros, das características do vidro utilizado [4] (Ducman et al., 2001). Assim, a adição de fibras sintéticas [3] (Park e Lee, 2004) e a utilização de concentração de vidro controlada (até 20%) ajudam a manter índices de expansão inferiores aos limites definidos pela



ASTM C1260 [5] (Limbachiya, 2009). Além disso, a adição do vidro reciclado em concreto autoadensável resulta na melhoria da plasticidade (*slump-flow*) e na redução de permeabilidade (utilizado em até 30% - substituindo a areia) com aumento da resistência à compressão (até 20% de utilização) e redução significativa da retração até idade de 90 dias ($a/c=0,28$) [6] (Wang e Huang, 2010).

Com o uso da sucata de vidro moído, adicionado ao concreto como agregado fino, estaríamos minimizando esses impactos ambientais, trazendo incentivo ao reaproveitamento dos materiais usados na construção civil, fomentando a sustentabilidade nos diversos setores da construção civil e ampliando alternativas econômicas para as construtoras, empresas de reciclagem e também para as vidraçarias.

O concreto é o principal responsável pela resistência à compressão das estruturas. Esta importante característica do concreto está, além de outros fatores, também associada a sua porosidade, pois quanto maior a relação água/cimento do concreto, maior a porosidade, conseqüentemente diminui a resistência. Com a adição de pó de vidro na dosagem do concreto, estaríamos diminuindo o índice de vazios deixado pela areia, preenchendo-os e fazendo com que haja um aumento de sua massa específica, aumentando assim também a resistência à compressão do concreto.

A busca da redução do consumo de cimento, aumentando a eficiência do concreto com diferentes tipos de adições, é uma tendência em termos de desenvolvimento do concreto, a fim de contribuir para sustentabilidade do setor. Resultados da 13^a Conferência Internacional de Química do Cimento (2011) mostram que o consumo mundial de cimento é crescente [7] (Gartner, 2004; Schneider et al., 2011). Globalmente, as empresas de cimento estão produzindo quase dois bilhões de toneladas/ano, conseqüentemente estão sendo emitidos quase dois bilhões de toneladas de CO₂ no processo (6 a 7% das emissões globais de CO₂). Nesse ritmo, até 2025 a indústria de cimento irá emitir CO₂ numa taxa de 3,5 bilhões de toneladas/ano, equivalente ao total das emissões na Europa hoje [8] (Shi et al,



2011), sendo que a estimativa para 2050 de emissão de CO₂ da indústria do cimento será de 17%.

Dadas as diretrizes – questionáveis ou não – para redução de CO₂, este é um percentual elevado para uma indústria, mesmo expondo toda a importância social e econômica de seu desenvolvimento. Apesar disso, o concreto pode ser considerado um material “ecológico”, pois utiliza grande quantidade de resíduos de outras indústrias, seqüestra o CO₂ da atmosfera, pode ser utilizado para deposição de lixo radioativo e pode ser infinitamente reciclado. Diante do exposto, a pesquisa avaliou a viabilidade de vidro reciclado e moído, a fim de contribuir para produção de concreto de menor custo e menor consumo de cimento.

Segundo [9] Polley et al, a diminuição da resistência à compressão do concreto, com o aumento da massa de vidro adicionada, pode ser associada à diferença na força de ligação entre a pasta e o agregado. As forças de ligação entre as partículas de vidro e a pasta são mais fracas se comparadas com a ligação da pasta com as partículas de agregados naturais. Logo, um aumento da massa de vidro no concreto aumenta a massa de agregado ligada mais fracamente à pasta. Outro fator a ser ressaltado é a reação álcali-agregado que pode ter uma contribuição ainda maior, sendo que o vidro tem em sua composição, uma grande parcela de sílica que pode reagir com os álcalis do cimento quando em contato com a água. Dessa reação surge uma espécie de gel que com a presença de água se expande, pondo em risco, por sua vez, o desempenho do concreto, havendo a necessidade de controle adequado.

2-MATERIAIS E MÉTODOS

O vidro utilizado para compor as misturas ensaiadas, foi do tipo Float incolor, comum, recolhido em vidraçarias. O material foi moído no moinho de bolas durante 15 minutos. Do produto deste processo de moagem, foi utilizada apenas a parcela passante na peneira 0,50mm. Usou-se essa granulometria devido à dificuldade e demora no processo de moagem de parcela mais fina.

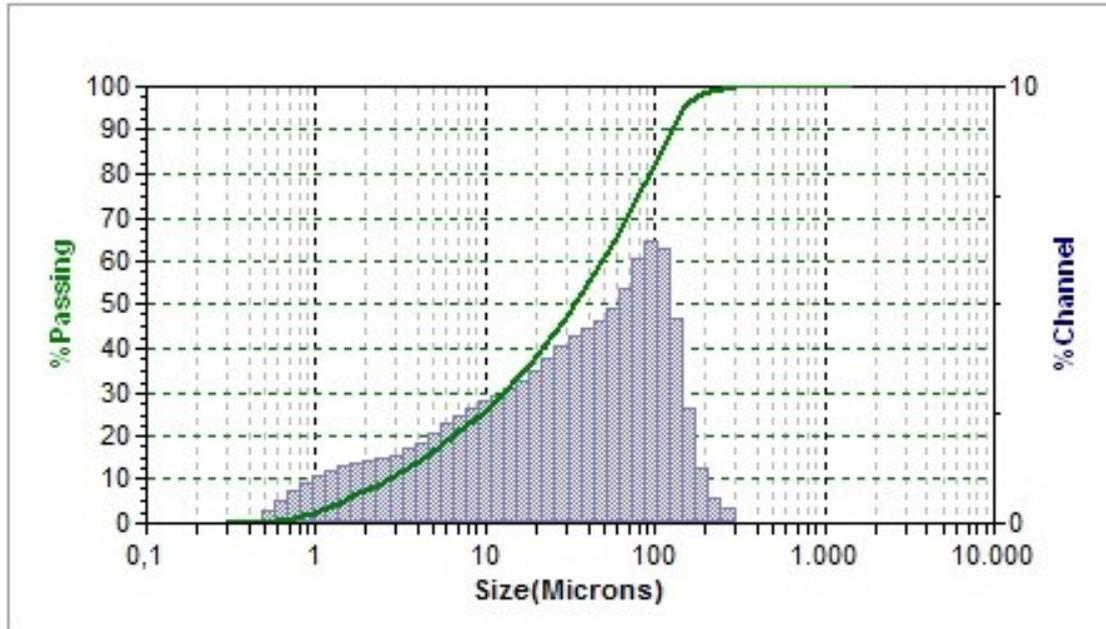


Figura 1- Distribuição Granulométrica do vidro

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do vidro moído.

Diâmetro das partículas (μm)	<10%	<50%	<90%
Vidro moído	2,65	33,61	122,5



Figura 2- Vidro moído

Para as composições de concreto, foi utilizado um traço padrão (1:5) com teor de argamassa de 55% e consumo de cimento de 371,69 (kg/m³). Foram utilizados também 170,98(kg/m³) de areia fina, 683,91(kg/m³) de areia grossa, 1003,56 (kg/m³) de brita, 167,26 (kg/m³) de água e 2,6 (kg/m³) de aditivo plastificante. A composição apresentou o seguinte traço unitário: 1: 0,46 : 1,84 : 2,7 : 0,45 : 0,007 (cimento : areia fina : areia grossa : brita : água : aditivo). Foram utilizados 3 teores de adição de vidro de 3%, 6%, 9% e mais a composição de referência sem adição (0%). Conforme pode ser observado na tabela 2, além do traço, o abatimento pelo tronco de cone (Slump Test,) seguindo a [10] NBR 7223 :1998.

Tabela 2: Traço de cada Mistura

Traço 1:5	1 : 0,46 : 1,84 : 2,7			
á= 55%	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4
Cimento	1,000	1,000	1,000	1,000
Aditivo FK 25	0,007	0,007	0,007	0,007
Areia Fina	0,460	0,460	0,460	0,460
Areia Grossa	1,840	1,840	1,840	1,840
Brita nº 1 e nº 2	2,700	2,700	2,700	2,700
Relação a/c	0,450	0,450	0,450	0,450
Adição de pó de vidro	0,000	0,030	0,060	0,090
Abatimento (cm)	10,500	10,500	11,000	9,500

Fonte: Da pesquisa, 2011.

Foram moldadas amostras seguindo a [11] NBR 5738 (Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro). Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, usou-se a [12] NBR 5739 (Ensaio De Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro), e para a realização dos ensaios de módulo de elasticidade, usou-se a [13] NBR 8522 (Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro), conforme mostra a figura 01. Os ensaios foram realizados nas idades de 07 (sete) e 28 (vinte e oito) dias.

2.1-MATERIAIS

2.1.1-Cimento

O Cimento utilizado nas misturas foi o CP V ARI- RS, (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial e Resistente a Sulfatos) da marca Votoram, que tem em sua composição, silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfatos de cálcio, filler e pozolana. Suas características físicas e químicas são apresentadas na tabela 3

Tabela 3: caracterização do Cimento CP V – ARI –RS

Resistência á Compressão (Mpa)			Tempo de Pega (horas)		Resíduo Insolúvel (%)	Perda ao Fogo (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	CO ₃ (%)	S (%)
1 dia	3 dias	7 dias	Início	Fim						
≥	≥	≥	≥	≤	≤	≤	≤	≤	≤	
11,0	24,0	34,0	1,0	10,0	1,0	4,5	6,5	4,5	3,0	/

Fonte: Informado pelo Fabricante

2.1.4- Aditivo

Foi utilizado o aditivo plastificante Muraplast FK 25 numa taxa de 0,7% em relação ao peso do cimento.

2.1.2- Agregados

Como agregado graúdo foi utilizado uma mistura de granulometria diferente, classificadas como brita nº 1 e brita nº 2.

Como agregado miúdo, também foi utilizado uma mistura com granulometria diferente de areia, sendo 80% de areia grossa e 20% de areia fina, também seca ao sol para retirar a umidade.

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados obtidos no referido trabalho, os dados mostram que da forma como foi utilizado o vidro, se torna inviável seu uso no que se refere à melhoria de suas propriedades. O ocorrido dá-se devido ao tamanho dos grãos utilizados no traço das amostras deste trabalho. Segundo os resultados obtidos por [14] LOPEZ (2003), há uma tendência de aumento da tensão média de ruptura usando uma 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 com 0% de adição de vidro.

Para cada ensaio foram utilizados três corpos de prova, totalizando 48 corpos de prova com as seguintes dimensões: Diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm.

3.1- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios a compressão axial, na idade de sete dias, apresentados na tabela 4, foi insignificante a variação de resistência à compressão entre as amostras. Esta variação manteve-se em torno de 5%, tornando inviável o uso do vidro com esta granulometria, em termos de ganho de resistência.

Tabela 4: Resultado dos ensaios á Compressão aos 07 dias.

Idade (dias)	Adição de Vidro (%)	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão – 03 amostras
7	0	36,50	+/- 0,58
7	3	38,07	+/-2,26
7	6	36,47	+/-1,03
7	9	38,50	+/-2,48

Fonte: Da pesquisa, 2011.

Para os ensaios aos vinte e oito dias, como mostra a tabela 5, houve na amostra com adição de 6% de vidro, uma diminuição na resistência chegando a 10% em relação à amostra com 0% de adição de vidro.

Tabela 5: Resultado dos ensaios à Compressão aos 28 dias.

Idade (dias)	Adição de Vidro (%)	Resistência Média	Desvio Padrão – 03 amostras
28	0	53,95	+/-1,05
28	3	53,40	+/-0,30
28	6	48,25	+/-2,25
28	9	53,70	+/-0,30

Fonte: Da pesquisa, 2011.

3.2- MÓDULO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO

Com os dados obtidos através dos ensaios do módulo de elasticidade à compressão aos sete dias, conforme tabela 6, observa-se também que as variações destes resultados foram insignificantes, não ultrapassando o valor de 5 % em relação á amostra com 0% de adição de vidro, o que leva a afirmar que não houve contribuição considerável para o módulo de elasticidade a adição do vidro nesta faixa granulométrica. Figura 3

Tabela 6: Resultado do Módulo de Elasticidade aos 07 dias.

(dias)	Adição de Vidro (%)	Modulo E Média(GPa)	Desvio Padrão – 03 amostras
7	0	35,83	+/-0,50
7	3	37,05	+/-1,13
7	6	35,78	+/-1,42
7	9	37,39	+/-1,43

Fonte: Da Pesquisa, 2011.

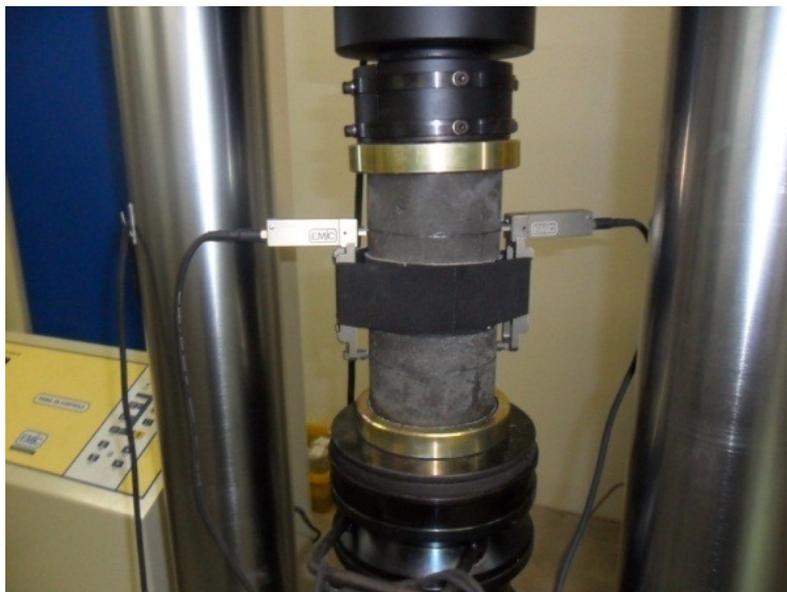


Figura 3 – Módulo de Elasticidade à Compressão

Também aos 28 dias, os resultados do módulo de elasticidade não obtiveram variações consideráveis, como se vê na tabela 7, vindo de encontro com os resultados do módulo de elasticidade realizado aos sete dias.

Tabela 7: Resultado do Módulo de Elasticidade aos 28 dias.

Idade (dias)	Adição de Vidro (%)	Módulo E Média (Gpa)	Desvio Padrão - 03 amostras
28	0	41,09	+/-0,77
28	3	39,11	+/-1,56
28	6	41,18	+/-1,73
28	9	39,29	+/-1,00

Fonte: Da pesquisa, 2011.

Com os dados das tabelas apresentadas referentes aos ensaios, tanto de resistência a compressão, quanto ao módulo de elasticidade aos sete e vinte e oito dias, percebe-se que os valores das amostras com 0% e com 6% são valores próximos e inferiores aos valores também próximos das amostras com 3% e 6%, sendo que a variação entre os maiores e menores valores é muito pequena. Vindo de encontro com os resultados obtidos nos ensaios, os efeitos da adição do pó de vidro foram insignificantes, tanto para a resistência à compressão, quanto para o

módulo de elasticidade, ao realizar análise estatística por análise de variância (ANOVA) foi observado os seguintes coeficientes: resistência $p = 0,218$; módulo de elasticidade $p = 0,998$.

Seguem abaixo os gráficos referentes aos resultados obtidos nos ensaios de Resistência á Compressão Axial e modulo de Elasticidade tanto para a idade de sete dias quanto para a idade de vinte e oito dias.

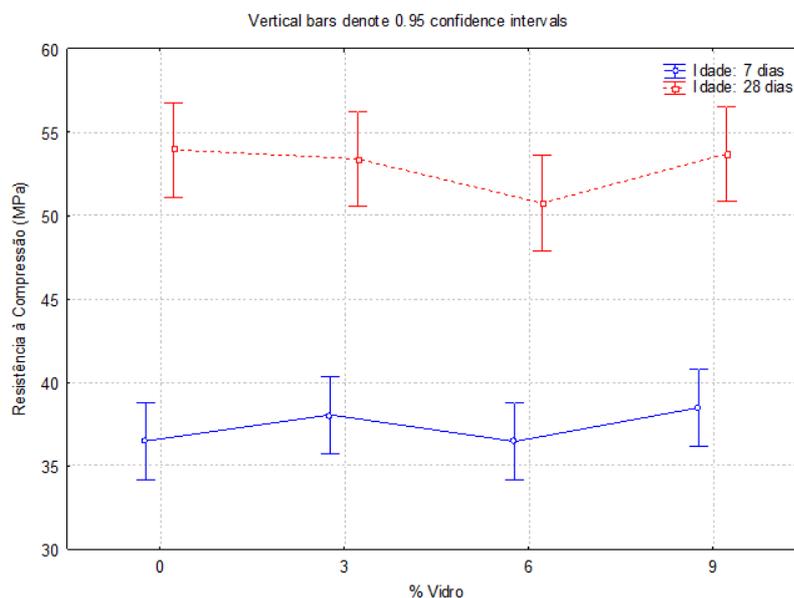


Figura 4- Gráfico- Resistência aos 07 e 28 dias.

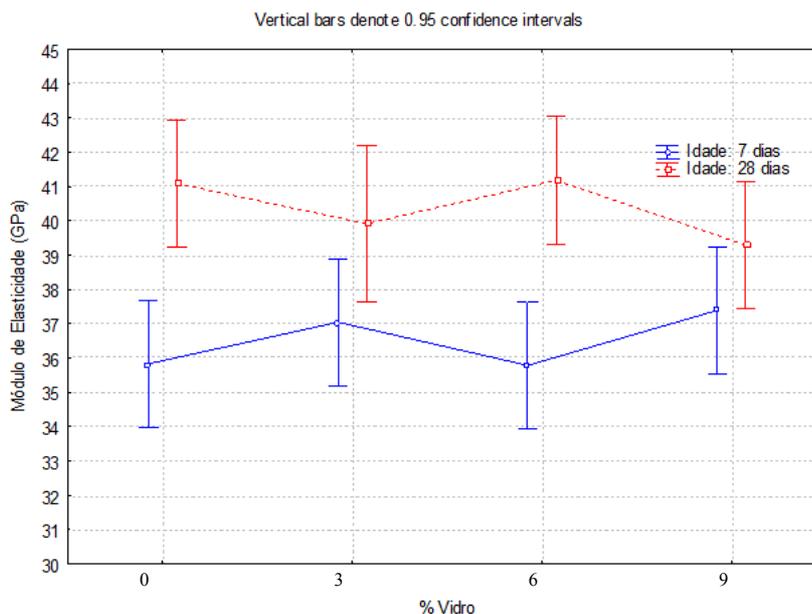


Figura 5-Gráfico – Módulo de Elasticidade aos 07 e 28 dias.



4-CONCLUSÕES

Ao considerarmos que a eficiência do concreto está no atendimento dos propósitos que venham a suprir as necessidades dos consumidores, no que se referem às suas características físicas, químicas e sócio-econômicas, a adição do pó de vidro, como agregado para o concreto, não demonstrou um ganho satisfatório de resistência, mas vale ressaltar que também não perdeu resistência, conforme vimos nos resultados obtidos nestes ensaios. Porém, não levando em consideração os custos de coleta, transporte e moagem, a utilização deste material adicionado ao concreto pode ser uma alternativa viável para solucionar em parte o problema da sucata do vidro, que sem dúvida gera uma grande quantidade de lixo. Então, esse resíduo da construção civil poderia ser empacotado no concreto, contribuindo economicamente no custo final do agregado e ainda mais com a sustentabilidade do setor.

Associa-se a esse resultado, outro fator contribuinte para o mesmo, sendo que a parcela de pó de vidro utilizada foi à parcela passante na peneira 0,50mm, desta forma o vidro não apresentou propriedades aglomerantes, não contribuindo assim com a resistência.

Nos ensaios realizados aos 07 e aos 28 dias, observa-se que valor médio das amostras com 0% de adição, e das amostras com 6% de adição de pó de vidro, tem valores muito próximos, mostrando um comportamento muito parecido nestes teores de adição de vidro. Do mesmo modo, o valor médio das amostras com 3% e 9% de adição do pó de vidro são valores próximos, porém, aproximadamente 5% menores que os valores das adições de 0% e 6%. Estas semelhanças se dão tanto para os ensaios da resistência à compressão, quanto para o ensaio do módulo de elasticidade.

Devido á abrangência do assunto e ao curto espaço de tempo em que foram realizados os trabalhos, não foi possível, avaliar os efeitos da reação álcali agregado, sendo então desconsiderada nesta pesquisa. Entende-se, porém, que este é um fator importante para a eficiência do concreto. Do mesmo modo, não foi



considerado o fator custos, pois para que se possa viabilizar o uso do vidro reciclado na fabricação do concreto, é necessário que se levem em conta as despesas de coleta, seleção, moagem e separação da parcela utilizável.

5-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, IBRACON 2005

- [2] Saccani, A., Bignozzi, M. C. ASR expansion behavior of recycled glass fine aggregates in concrete. Cement and Concrete Research. 2010.

- [3] Park, S.-B., Lee, B.-C. Studies on expansion properties in mortar containing waste glass and fibers. Cement and Concrete Research. 2004.

- [4] Ducman, V., Mladenovic, A., Suput, J.S. Lightweight aggregate based on waste glass and its alkali-silica reactivity. Cement and Concrete Research. 2002.

- [5] Limbachiya, M.C. Bulk engineering and durability properties of washed glass sand concrete. Construction and Building Materials. 2009.

- [6] Wang, H.Y., Huang, W.-L. Durability of self-consolidating concrete using waste LCD glass. Construction and Building Materials. 2010.

- [7] GARTNER, Ellis. Industrially interesting approaches to “low-CO2” cements. Cement and Concrete Research. 2004.



- [8] SHI, C.; JIMENES, F.; PALOMO, A. New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement. *Cement and Concrete Research*. 2011.
- [9] C. Polley, S. M. Cramer, R. V. De La Cruz, J. Mater. In *Civil Eng. ASCE* **10**, 4 (1998) 587.
- [10] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 7223:1998) Determinação da Consistência pelo Tronco de Cone SLUMP TEST. Rio de Janeiro.
- [11] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). (NBR 5738) Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro.
- [12] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). (NBR 5739) Ensaio De Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro.
- [13] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2002). (NBR 8522) Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro.
- [14] LÓPEZ¹, D. A. R; AZEVEDO², C. A. P. de; BARBOSA Neto¹, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. ¹UNISC - Santa Cruz do Sul RS; ²ULBRA.Canoas, 2005.