

Viabilidade Mecânica da Substituição de Areia por Vidro Moído no Concreto

Mechanical Viability of Replacement of Sand by Ground Glass in Concrete

Fernando Ernesto Ucker

Escola de Engenharia - Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC/GO), Goiânia,
Goiás

ferucker@gmail.com

Felipe Corrêa Veloso dos Santos

Escola de Engenharia - Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC/GO), Goiânia,
Goiás

felipecv Santos@hotmail.com

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade mecânica e aplicabilidade da substituição de areia por vidro moído na fabricação do concreto. Para isso, foi realizada a caracterização dos materiais que compõem o concreto, além do vidro reutilizado a partir de garrafas *longnecks*, que foi o material adotado nesta pesquisa como alternativa sustentável. Após a caracterização dos materiais com o enquadramento nas normas nacionais cabíveis, foram rodados concretos com diferentes porcentagens de substituição da areia por vidro (5%, 10% e 50%) e um concreto sem a presença do vidro, como amostra de referência. Para cada concreto foram moldados corpos de prova, que passaram pelo processo de cura e ensaiados à ruptura por compressão nas idades de 7 e 28 dias. Com os resultados obtidos pela ruptura dos corpos de prova foram realizadas análises estatísticas para determinação dos contrastes entre as médias, procedendo-se a aplicação do Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Assim, foi possível observar que a substituição parcial de areia por vidro no concreto é viável mecanicamente, pois produz resultados semelhantes e até superiores quanto à resistência a compressão, tendo em vista tratar-se de um material de fácil obtenção, não retornável, exigindo destinação adequada, além da necessidade cada vez maior do aperfeiçoamento nas técnicas sustentáveis de produção de concreto na construção civil.

Palavras-chave: construção civil; areia; vidro moído.

Abstract: The objective of this work was to evaluate the mechanical feasibility and applicability of the replacement of sand by ground glass in the manufacture of concrete. For this, the characterization of the materials that compose the concrete was performed, as well as the glass reused from bottles *longnecks*, which was the material adopted in this research as a sustainable alternative. After the characterization of the materials according to the applicable national standards, concrete samples were run with different percentages of sand replacement by glass (5%, 10% and 50%) and a concrete without glass as a reference sample. For each concrete, specimens were molded, which passed through the curing process and were tested at compression rupture at the ages of 7 and 28 days. With the results obtained by the rupture of the test specimens, statistical analyzes were carried out to deter-

mine the differences between the means, and the Tukey test was applied at the 5% level of significance. Thus, it was possible to observe that the partial substitution of sand by glass in the concrete is mechanically viable, since it produces similar and even superior results regarding the compressive strength, considering that it is an easily obtainable, non-returnable material, requiring disposal Adequate, in addition to the increasing need for improvement in the sustainable techniques of concrete production in civil construction.

Key words: construction; sand; crushed glass.

1 Introdução

O concreto é o material mais utilizado na construção civil atualmente. Segundo pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a produção de concreto em centrais atingirá 72,3 milhões de m^3 em 2017, crescimento estimado em 41,2% no período de cinco anos, a uma taxa anual de 7,1%. O concreto se destaca como um bom material construtivo devido, principalmente, às propriedades resistência à água e plasticidade, que possibilita sua moldagem em diversas formas. Devido sua grande utilização, este material passa a ser um inimigo do pensamento sustentável, principalmente pela utilização de matérias-primas não renováveis, como a brita, a areia e o calcário [1].

A reciclagem no Brasil evoluiu muito nos últimos anos, porém ainda deixa muito a desejar. Segundo a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO), em 2008, apenas 32,3% das cidades brasileiras tinham um programa de coleta seletiva. Nesta questão, o vidro é um dos produtos que pode ser 100% reciclado. Porém, segundo a mesma associação, até 2007 apenas 49% do vidro eram reciclados no país [2].

Quando não disposto à reciclagem, o resíduo é destinado aos aterros sanitários ou até para lixões, formas primitivas e condenadas por órgãos ambientais para a deposição de lixo, causando diversos danos ambientais. Para reduzir a grande disposição de resíduos nestes locais, a reciclagem dos materiais é de fundamental importância, tanto pela diminuição da exploração de recursos não renováveis quanto pela redução do lixo acumulado nos lixões e aterros.

Segundo Azevedo [3] e Righi [4] na produção do concreto, a substituição de areia por vidro reciclado vem sendo estudada por diversos pesquisadores, e este método já é bastante utilizado em alguns países como Austrália [5] e Estados Unidos [6].

Dois fatores são mais notórios na substituição da areia pelo vidro moído. Em primeiro, a reação álcali-agregado, que está relacionada às forças de ligação entre as partículas de vidro e pasta, que são mais fracas que as com a areia natural e, em segundo, o efeito pozolânico que pode trazer benefícios ao concreto. Existe uma porcentagem adequada de substituição de areia por vidro que é ideal para que não diminua a resistência do concreto e há uma faixa granulométrica ideal para se evitar problemas causados pela reação álcali-agregado e alcançar o efeito pozolânico [7, 8, 9].

Com base no exposto acima, foi objetivo deste trabalho a avaliação da viabilidade mecânica e a aplicabilidade da substituição de areia por vidro moído na fabricação de concreto.

2 Material e Métodos

O estudo experimental foi realizado na Faculdade Araguaia, que se encontra na Avenida T-10, nº 1047, no Setor Bueno, município de Goiânia, Estado de Goiás. Foram utilizados os laboratórios de construção civil e resistência dos materiais, e realizadas análises e caracterizações dos agregados miúdos e graúdos, além da utilização de equipamentos para o amassamento do concreto e os ensaios de resistência à compressão.

O vidro utilizado neste trabalho foi obtido por meio da moagem de garrafas *longnecks*, que foram adquiridas em distribuidoras de bebidas do município de Goiânia. Estes tipos de garrafas não são retornáveis, o que não é interessante para as distribuidoras, pois são materiais descartáveis e, desta forma, a obtenção destas é facilitada. Após o recebimento, as garrafas foram lavadas, sendo retirados os rótulos e os resíduos presentes no interior das mesmas, sendo posteriormente secas ao sol, para que assim, fosse possível realizar a moagem do vidro sem que houvessem substâncias que pudessem modificar ou danificar o resultado do experimento.

O procedimento de moagem do vidro foi realizado utilizando-se de um moinho elétrico. Para atingir uma menor finura do vidro, foi adicionada no moinho uma tela de aço. Com a utilização de uma peneira de malha 2,36 mm, foram separados os cacos de vidro do pó de vidro moído, e os cacos foram passados várias vezes no moinho até que só restasse pó de vidro com a menor finura possível. Os demais materiais utilizados nesta pesquisa foram adquiridos em lojas de materiais de construção do município.

A caracterização dos materiais utilizados nesta pesquisa se deu pela análise dos agregados. Basicamente, estes foram avaliados quanto à granulometria, pela NBR NM 248 [10], massa específica, a partir das NBR NM 52 [11] para agregados miúdos e NBR NM 53 [12] para agregados graúdos. Ainda foi determinada a umidade total de agregados miúdos, tendo como base a NBR 9.939 [13].

Foi substituída a areia pelo vidro moído nas porcentagens de 5, 10 e 50%. Também foram moldados corpos-de-prova sem a substituição de vidro moído, a fim de se obter uma amostra testemunha. O traço utilizado para o experimento foi o padrão 1:5 com teor de argamassa de 55%, com a utilização de cimento Portland (CP II-Z-32 Tocantins), areia grossa, brita zero e do aditivo FRITZ Supercizer 2 (superplastificante). Para a obtenção de um concreto com boa trabalhabilidade e boa consistência (*slump test*) que seria maior que 8 cm para vigas e 12 cm para pilares, para se evitar o segregamento. Foram realizados diferentes traços, até que se obteve um traço que atendeu aos requisitos de trabalhabilidade e *slump* (maior que 12 cm). Assim, o traço adotado foi na relação cimento:areia grossa:brita zero: água:aditivo de 1:2,3:2,7:0,55:0,0045, respectivamente.

A quantidade de materiais para cada rodagem de concreto foi baseada no traço unitário em massa, considerando-se as umidades dos materiais. Visto que, para cada traço rodado de concreto seriam necessários 15 corpos-de-prova de dimensões de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, foi utilizada a Equação (1) para obtenção da quantidade de materiais.

$$M_c = \frac{v}{\frac{1}{pc} + \frac{a}{pa} + \frac{b}{pb} + a/c}, \quad (1)$$

onde $M_c \equiv$ massa de cimento por volume, $pc \equiv$ massa específica do cimento, $pa \equiv$ massa específica da areia, $pb \equiv$ massa específica da brita, $a/c \equiv$ relação água cimento e $v \equiv$ volume.

A partir da massa de cimento foram calculadas as massas dos outros materiais, de acordo com o traço. Com as porcentagens de substituição, a areia foi sendo substituída pelo vidro em cada traço. Como a pasta do concreto tende a aderir às paredes da betoneira, geralmente

é recomendável fazer uma lubrificação prévia da mesma com um concreto traço 1:2:3, com 1 kg de cimento. Para isso, molhou-se previamente a betoneira, foi acrescentada a brita, água e areia. Acrescentou-se mais água até a formação de um concreto com a trabalhabilidade adequada. Retirou-se então o material com a betoneira em movimento, desligou-se a betoneira, de onde foi retirado o restante do concreto, deixando-se uma camada de pasta aderida por toda a cuba. Após a lubrificação da betoneira, colocou-se a brita, o cimento e a areia, sempre sendo intercalados com água.

O ensaio do Slump test foi determinado de acordo com a NBR NM 67 [14], e realizado duas vezes para cada um dos quatro concretos rodados. Para o ensaio foram utilizados molde do cone, placa, haste de socamento e régua milimetrada. Primeiramente, o molde e a placa foram umedecidos e colocados em posição. Colocou-se os pés sobre as aletas do molde para fixá-lo e foram colocadas 3 camadas de concreto fresco, cada uma com 1/3 do volume do molde, compactando-se cada uma das camadas com 25 golpes, distribuídos uniformemente sobre a seção de cada camada. Após isto foi nivelada a borda do cone com a haste, e a placa foi limpa antes da retirada do molde, levantando-o cuidadosamente na vertical. Imediatamente após a retirada do molde, foi medido o abatimento do concreto, determinado pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado, medido pela régua.

Foi realizada a moldagem dos corpos de prova para cada porcentagem de acordo com a NBR 5.738 [15]. Os equipamentos utilizados foram moldes cilíndricos de dimensões 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, e haste de adensamento. De acordo com esta norma, para corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm, o número de camadas de adensamento para um adensamento manual é de duas camadas com doze golpes para cada camada. Desta forma, para o procedimento de moldagem dos corpos de prova, primeiramente os moldes e suas bases receberam uma camada de óleo mineral em sua parede interna. Foi retirado o excesso de material com o rasamento feito pela haste. O procedimento foi realizado para os 15 corpos de prova de cada concreto rodado.

Após o molde dos corpos de prova, estes foram colocados em local protegido, livre de vibrações e de qualquer causa que pudesse perturbar o concreto durante as primeiras 24 horas. Devido a indisponibilidade de câmara fria para a cura dos corpos de prova, foi utilizada uma caixa d'água, com mistura saturada de água e cal, para atender as condições de cura dos corpos de prova. Após as primeiras 24 horas, de cura inicial, os corpos de prova foram desmoldados e colocados na caixa d'água até o dia do seu rompimento.

O ensaio de compressão foi realizado de acordo com a NBR 5.738 [15] para cada porcentagem de substituição de areia por vidro, nas idades de 7 e 28. Os corpos de prova foram tirados do local de cura e levados imediatamente para o local de ruptura, mantendo-se as condições de temperatura, durante o ensaio, semelhantes às condições de cura. Os resultados de força foram obtidos automaticamente pela máquina no momento da ruptura, em kN.

A altura e o diâmetro dos corpos de prova foram considerados iguais aos do molde, 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro. E para o cálculo da resistência, para cada um dos quatro concretos rodados foram ensaiados à compressão cinco corpos de prova por idade de ruptura (7 e 28 dias), utilizando a Equação (2), conforme prescreve a norma.

$$f_c = \frac{4F}{\pi * D^2}, \quad (2)$$

onde $f_c \equiv$ resistência a compressão(MPa), $F \equiv$ força máxima alcançada(N) e $D \equiv$ diâmetro do corpo-de-prova(mm).

A partir das porcentagens média retida e acumulada em cada peneira foi possível o cálculo

do módulo de finura, da dimensão máxima característica e o traçado da curva granulométrica de cada agregado, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. *Composição granulométrica e características dos agregados utilizados na pesquisa*

Composição granulométrica			
	Vidro	Areia Grossa	Brita Zero
Peneiras (mm)	Porcentagem retida(%)		
12,5	0	0	4,41
9,5	0	0	35,03
6,3	0	0	40,11
4,75	0	0	14,67
2,36	9,29	8,28	0
1,18	44,92	26,79	0
0,6	24,4	31,23	0
0,3	15,75	26,49	0
0,15	4,2	5,83	0
Fundo	1,44	1,38	0
Características dos agregados			
	Vidro	Areia Grossa	Brita Zero
Módulo de finura	3,35	3,011	6,34
Dimensão máxima característica(mm)	4,75	4,75	12,5

A Tabela 1 mostra que o vidro e a areia grossa apresentam módulos de finura próximos e dimensões máximas características iguais. Pode-se também observar que o vidro possui maior quantidade de finos. Também foram verificadas as umidades e os pesos específicos do vidro e da areia, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. *Propriedades dos materiais*

	Umidade Média (%)	Massa específica (g/cm^3)	Massa esp. sat. sup. seca (g/cm^3)	Massa esp. aparente (g/cm^3)	Absorção de água (%)
Vidro	0	2,457	-	-	-
Areia	0,671	2,625	-	-	-
Brita	-	2,458	2,505	2,580	1,911

Na época do ensaio, a umidade relativa do ar estava baixa, justificando a baixa umidade da areia e provavelmente a umidade nula do vidro. A partir das massas específicas foi possível observar que a massa específica média do vidro e da areia são próximas.

Para a determinação do traço para o experimento foram necessárias algumas tentativas para que fosse utilizado um traço adequado para o estudo, que visava a utilização do concreto para qualquer atividade, inclusive para peças estruturais. O traço de referência que ofereceu uma boa trabalhabilidade e abatimento (*slump*) adequado foi o destacado na Tabela 5, e a partir dele foram obtidos os demais traços para os concretos com substituições de areia por vidro.

Tabela 3. Traços dos concretos utilizados na pesquisa

Concretos	Traço do concreto					
	Cimento	Areia Grossa	Vidro Moído	Brita Zero	Água	Aditivo
Referência	1	2,3	0	2,7	0,55	0,0045
5% de substituição	1	2,185	0,115	2,7	0,55	0,0045
10% de substituição	1	2,07	0,23	2,7	0,55	0,0045
50% de substituição	1	1,15	1,15	2,7	0,55	0,0045

Com os traços definidos foi possível o cálculo das quantidades necessárias de cimento para cada tipo de concreto rodado (Tabela 4), a partir da Equação 1, sendo que, inicialmente, foi definido a necessidade de 15 corpos-de-prova por concreto rodado.

Tabela 4. Quantitativo de corpos de prova, volume de concreto e massa de cimento por tipo de concreto

Concretos	Corpos-de-prova	Quantitativo de materiais		
	Total	Volume de concreto(cm^3)	Massa de cimento(kg)	Massa de cimento Considerada(kg)
Referência	15	23561,95	8,29	10
5% de substituição	15	23561,95	8,28	10
10% de substituição	15	23561,95	8,27	10
50% de substituição	15	23561,95	8,20	10

A partir das quantidades necessárias de cimento, do traço e da umidade dos materiais foi obtido o quantitativo de materiais cimento, areia grossa, vidro moído, brita zero, água e aditivo, em kg, para cada tipo de concreto rodado (Tabela 5).

Para cada concreto rodado foram realizados dois abatimentos e assim obteve-se o *slump* médio, representado na Tabela 6. Os abatimentos obtidos foram maiores que 12 cm, que é o valor mínimo para pilares, assim, como o estudo foi realizado com o objetivo do uso para qualquer tipo de concreto, considerando também o concreto estrutural, os resultados de *slump* foram satisfatórios. A obtenção de abatimentos maiores foi possível, provavelmente, devido ao aditivo superplastificante utilizado. De acordo com o fabricante, o superplastificante Supercizer 2 quando adicionado na quantidade normal de água de amassamento pode produzir um concreto com aumento de até 18 cm de *slump*.

Também foram realizadas as análises das resistências para cada porcentagem de substituição comparando os resultados por dias de ruptura, ou seja, para cada porcentagem foi analisada a mudança de resistência com o tempo.

Tabela 5. Quantitativo dos materiais para cada tipo de concreto

Concretos	Quantitativo de materiais (kg)					
	Cimento	Areia Grossa	Vidro Moído	Brita Zero	Água	Aditivo
Referência	10	23,154	0	27	5,346	0,0045
5% de substituição	10	21,997	1,150	27	5,353	0,0045
10% de substituição	10	20,839	2,300	27	5,361	0,0045
50% de substituição	10	11,577	11,500	27	5,423	0,0045

Tabela 6. *Abatimento dos concretos(Slump test)*

Concretos	Slump Médio (cm)
Referência	18,50
5% de substituição	18,10
10% de substituição	16,45
50% de substituição	17,65

Por fim, para os resultados dos ensaios de resistência dos concretos foram realizadas análises estatísticas utilizando-se o software Assistat [17]. Primeiramente foram analisadas as resistências por dia de rompimento, ou seja, para cada dia de rompimento foram comparadas as resistências de cada porcentagem de substituição (0, 5, 10 e 50%), utilizando o teste F e o teste de Tukey. Para todas as análises foram utilizadas significâncias ao nível de 1% ou 5%.

3 Resultados e Discussão

A Tabela 7 mostra que as resistências à compressão aos 7 dias, para todas as porcentagens de substituição não apresentaram diferença significativa, de acordo com o teste de Tukey. Estes resultados comprovam que a porcentagem de substituição de areia por vidro moído não traz benefício ao concreto na cura de sete dias.

Porém, para a idade de 28 dias, existe diferença significativa entre os resultados, sendo que os resultados da amostra testemunha e porcentagem de 50% não apresentam diferença significativa entre si, assim como, as porcentagens de 5% e 10% não apresentam diferença significativa, no entanto, comparando a amostra testemunha e 50% com 5% e 10%, verifica-se que a diferença é significativa. Neste caso, substituindo 5 ou 10% de areia do concreto por vidro moído obtém-se resistência maior do que um traço padrão, representado pela testemunha (Tabela 7).

Tabela 7. *Resistência (MPa) para cada porcentagem de substituição de areia por vidro.*

Idades	Testemunha	5%	10%	50%
7	13,692 ^a	16,484 ^a	16,726 ^a	13,01 ^a
28	14,7 ^b	21,244 ^a	19,408 ^a	15,454 ^b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%

Os resultados obtidos para a resistência do concreto, nas idades definidas no estudo, mostraram que os concretos com substituição parcial de areia por vidro na faixa de 5%, 10% apresentaram resultados melhores que o próprio concreto de referência.

Como no experimento o vidro obteve maior quantidade de finos que a areia utilizada, estes resultados podem ter ocorrido devido ao efeito pozolânico, mencionado por Shao [8], os quais apontaram que a granulometria mais fina do vidro traz uma condição de material pozolânico ao vidro, até porque a pozolana tem a propriedade de reagir e se combinar com o hidróxido de cálcio, formando compostos estáveis de poder aglomerante como silicatos e aluminatos de cálcio hidratado [18]. Assim, em compostos a base de cimento Portland, como o concreto, a utilização de pozolana resulta em uma produção extra de silicatos de cálcio hidratados, que são mais estáveis e beneficiam o produto.

O concreto com 50% de substituição, nas idades de 7 e 28 dias, proporcionaram resultados inferiores às demais substituições, mostrando que, provavelmente, substituições com maiores porcentagens de vidro poderiam conduzir a valores mais baixos. No entanto, os resultados de 50% de substituição foram próximos aqueles atributos como referência.

É oportuno mencionar, que o aumento da massa de substituição de areia por vidro, leva à diminuição da resistência, provavelmente devido à menor força de ligação entre pasta e agregado, em comparação com a força de ligação com o uso total da areia como agregado miúdo [19], sem perder de vista que a substituição parcial da areia por vidro geralmente proporciona resultados semelhantes ao concreto convencional [20].

De um modo geral os resultados da resistência dos concretos foram baixos, podendo-se atribuir ao traço escolhido, o qual utilizou uma relação água/cimento (0,55), considerada alta. Segundo [21] a relação água e cimento (a/c) é considerada como parâmetro extremamente importante para o concreto estrutural. Porém, mesmo com os resultados baixos de resistência, o objetivo de comparação entre concretos não foi comprometido.

4 Conclusão

A substituição parcial da areia por vidro no concreto é possível, produzindo resultados convincentes. A faixa de substituição de 5 a 10% propicia resultados superiores à amostra testemunha, e que para até 50% de substituição não há diminuição significativa no que se refere à resistência à compressão. Tal prática pode tornar-se viável mecanicamente e necessária, pois a obtenção do vidro é facilitada, devido as garrafas serem materiais não retornáveis, estando a exigir destinação adequada, além do impositivo da cada vez mais crescente busca por técnicas efetivamente sustentáveis na produção de concreto na construção civil.

Entretanto, para uma melhor avaliação de tal experiência propõe-se a continuação dos estudos visando o aprimoramento da técnica, particularizando para o uso de traços mais fortes para o concreto, diferentes relações água/cimento, redução na granulometria do vidro moído utilizado, verificação da porcentagem crítica onde a resistência realmente tende a decrescer, além das resistências para concretos com mais de 50% de substituição.

Referências

- [1] CONCRETO E CONSTRUÇÕES. Concreto: Material construtivo mais utilizado do mundo. IBRACON, n.53. 2009.
- [2] ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. Reciclagem no Brasil – Infográfico. Disponível em: <http://www.abividro.org.br/reciclagem-abividro/reciclagem-no-brasil>
- [3] AZEVEDO, C. A. P.; LÓPEZ, D. A. R.; NETO, E. B. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro moído com agregado fino. *Cerâmica*, v. 51, n. 1, p. 318-324, 2005.
- [4] RIGHI, D.; KOHLER, L.; KIRCHHOF, L.; LIMA, R. Efeitos da Substituição de Areia por Vidro Moído no comportamento de Concretos em Elevadas Temperaturas. *Engenharia Estudo e Pesquisa*, Santa Maria, v. 11, n. 02, p.28-35, jul/dez. 2011.

- [5] BROWN, T.; CRENTSIL, K.S.; TAYLOR, A. Recycled glass as sand replacement in premix concrete. Ed. Eco-Recycled Australia and CSIRO, 2001.
- [6] MEYER, C.; XI, Y. Use of Recycled Glass and Fly Ash for Precast Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v.11, n.2, p.89-90. 1999.
- [7] BABU, K. G.; PRAKASH, P.V. *Cement and Concrete Research*. 25, 6. 1995.
- [8] SHAO, Y.; LEFORT T.; MORAS, S.; RODRIGUEZ, D. Studies on concrete containing ground waste glass. *Cement and Concrete Reserch*. Elmsford, v. 30, n.1, p.91-100, 2000
- [9] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. São Paulo: Pini, 2015. Tradução de Salvador Ed. Giammusso.
- [10] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003
- [11] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- [12] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53. Agregado graúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- [13] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.939. Agregado graúdo – Determinação doteor de umidade total – Método de ensaio.Rio de Janeiro, 2011
- [14] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. Concreto- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- [15] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.
- [16] FRITZ-PAK – Concrete Admixtures. Disponível em: http://www.fritzpak.com/products/product_supercizer2.shtml.
- [17] SILVA, F.A.S. ASSISTAT: Versão 7.7 beta. DEAG-CTRN-UFCG – Atualizado em 01 de abril de 2014. Disponível em <http://www.assistat.com>.
- [18] NETTO, R. M. Materiais pozolânicos. Monografia (Trabalho de Especialização). Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.
- [19] CRAMER, S.M.; POLLEY. C.; CRUZ, R.V. Potential for using waste glass in portland cement concrete. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, v.10, n.4, p.210-219. 1998
- [20] BARBOSA, F. R.; CARVALHO, J. R.; MOTA, J. M. F. C.; SILVA, A. J. C. Utilização de vidro reciclado para produção de concreto verde em Fernando de Noronha. Anais... Elecs. 2011.

- [21] HELENE, P.; TUTIKIAN, B.F. Concreto: Ciência e Tecnologia. cap. 12. IBRACON. 2011.
- [22] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.