

Concreto Autoadensável com Adição de Finos de Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água

(Self-compacting Concrete with Addition of Fines Aggregates of Wastes Generated in Water Treatment Plants)

F. S. de Andrade¹; A. H. Barbosa¹; R. F. Ferraz¹; R. de C. L. e Silva¹

¹Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf)

Av. Antônio C. Magalhães, 510, Country Club, Juazeiro-BA, CEP: 48902-300
anderhb80@gmail.com, ricardo.univasf@gmail.com

Resumo

O concreto autoadensável (CAA) é um concreto com capacidade de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços pelo efeito do seu peso próprio, sem utilização de vibrador de imersão. Neste trabalho avaliaram-se as propriedades no estado fresco e endurecido do CAA com a substituição parcial do cimento e do agregado miúdo por um resíduo proveniente da lavagem dos decantadores e floculadores da Estação de Tratamento de Água do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), localizado na cidade de Juazeiro – BA. Todos os traços produzidos apresentaram no estado fresco resultados satisfatórios segundo a NBR 15823:2010, todavia os traços com substituição do resíduo no cimento apresentaram uma maior fluidez e habilidade passante. A resistência à compressão do CAA sofreu uma redução com o aumento da substituição do resíduo, os concretos produzidos com substituição apenas na areia apresentaram maior resistência quando comparados aos concretos com substituição do resíduo no cimento.

Palavras chave: concreto autoadensável, substituição parcial, resíduo, Estação de Tratamento de Água.

Abstract

Self-compacting concrete (CAA) is a concrete that is capable of flowing into the mold and fills all spaces by the effect of its own weight, without the use of an immersion vibrator. This study evaluated the properties in the fresh and hardened state CAA with the partial replacement of cement and fine aggregate for a residue from washing decanters and flocculators of Water Treatment System of Autonomous Water and Sewage System (SAAE), located in the city of Juazeiro - BA. All traces produced in the fresh state presented satisfactory results according to NBR 15823: 2010, however traces with residue replacement in the cement presented a greater fluidity and passing ability. The compressive strength of the CAA was reduced with the increase of the substitution of the residual, the concretes produced with substitution only in the sand presented greater resistance when compared to the concrete with substitution of the residue in the cement.

Keywords: self-compacting concrete, partial replacement, residue, Water Treatment System.

INTRODUÇÃO

O concreto, por ser o material de construção mais utilizado no mundo, tem passado por grandes avanços na tecnologia de sua produção nas últimas décadas. O mercado e as técnicas construtivas exigem, cada vez mais, concretos com propriedades específicas e que produzam uma rapidez na execução de uma obra associada à redução de custos e ao aumento da qualidade de execução da mesma, logo como produto dessa tecnologia na construção civil está inserido o concreto autoadensável (CAA).

O CAA apresenta como principais características a capacidade de se moldar na fôrma, sem a necessidade de compactação e passar pelas armaduras sem segregando produzindo um concreto de fácil e rápida aplicação, e que evita o aparecimento de ninhos de concretagem (bolhas de ar ou falhas na concretagem) e dos ruídos dos vibradores na obra [1].

O desenvolvimento do CAA produziu uma economia e menor tempo de execução das estruturas devido à proporção otimizada de seus componentes e principalmente pela eliminação do adensamento mecânico do concreto [2].

O CAA utiliza os mesmos materiais empregados para a produção do concreto convencional com a inserção do aditivo superplastificante para produzir a alta fluidez e adições minerais e/ou modificadores de viscosidade para evitar os fenômenos da exsudação e segregação.

A utilização de adições minerais provenientes de resíduos industriais como, por exemplo, o resíduo gerado no processo de tratamento de água denominado lodo de estação de tratamento de água (LETA), fonte de estudo do presente trabalho como constituinte do CAA, tem aumentado consideravelmente. Este processo tem ocorrido já que a utilização do mesmo melhora a coesão e preenche os espaços vazios existentes na pasta de cimento. Além de contribuir de maneira sustentável, pois ameniza o impacto ambiental provocado pela disposição desse resíduo no meio ambiente, a utilização do CAA produz uma redução de custos comparada ao uso do concreto tradicional.

As estações de tratamento de água (ETAs), denominadas convencionais que transformam a água bruta em água potável empregando a coagulação, floculação, sedimentação e filtração, produzem rejeitos nos decantadores e nos filtros, sendo no Brasil a maioria desses resíduos lançados diretamente em cursos d'água, provocando um prejuízo ambiental [3].

A destinação final do resíduo produzido nas estações de tratamento de água por envolver uma elevada quantidade de material tem sido um desafio a ser vencido. Portanto, a

utilização deste resíduo na composição do CAA pode ser uma opção por o mesmo ser um material fino, o que pode ajudar nas propriedades do CAA, além do benefício da redução do impacto ambiental provocado pela disposição deste resíduo no meio ambiente.

Hoppen [4] realizou um estudo incorporando lodo de uma ETA localizada na cidade de Curitiba/PR, em matrizes de concreto no qual foram produzidos concretos nos quais a areia foi substituída pelo lodo da ETA em cada traço, na proporção de 3%, 5%, 7% e 10%. Os resultados indicaram que os traços contendo até 5% de lodo obtiveram resistência á compressão simples acima de 30 MPa aos 28 dias, podendo esse concreto ser utilizado para fabricação de peças de concreto como (tampas de concreto para cobertura de fossas e caixas de passagem) até a construção de pavimentos em concreto de cimento Portland (pavimento rígido).

A influência da substituição do agregado miúdo por lodo da ETA para a produção de concreto também foi observado por Castro [5]. Para tal, foi realizada a substituição do agregado miúdo pelo lodo nas proporções de 5%, 10% e 15%, durante a produção de concreto utilizado na fabricação de pisos pré-moldados. Analisando os resultados obtidos foi possível considerar que teores de substituição equivalentes a 10% e 15% se tornaram economicamente viáveis para o uso em pisos para tráfego leve e de pedestres, sendo na substituição de 15% houve ganho de resistência a compressão do concreto.

Este trabalho apresenta como objetivo geral a avaliação das propriedades no estado fresco e endurecido de concreto autoadensável com a substituição parcial do cimento e do agregado miúdo por um resíduo proveniente da lavagem dos decantadores e floculadores da Estação de Tratamento de Água do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), localizado na cidade de Juazeiro – BA.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta, triagem e preparação dos resíduos

Os resíduos a serem utilizados na pesquisa foram obtidos junto ao Sistema Autônomo de Água e Esgoto - SAAE, localizado na cidade de Juazeiro – BA, sendo o resíduo proveniente da estação de tratamento de água, coletado durante a realização da lavagem do decantador da ETA do SAAE. Após a coleta do material, o mesmo foi levado ao Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas da Universidade Federal do Vale do São Francisco (LABMATEC), onde foi armazenado em local protegido para que ocorra a evaporação parcial do líquido constituinte.

Em seguida o resíduo foi armazenado em uma estufa para a evaporação completa do líquido permanecendo apenas o material sólido, que posteriormente foi depositado em um moinho de bolas para que o resíduo fosse triturado transformando-se em um material de baixa granulometria.

Materiais utilizados

O agregado graúdo utilizado para a produção do CAA foi à brita denominada zero disponível no próprio LABMATEC com diâmetro máximo de 9,5 mm, especificado de acordo com a NBR 248/2003 [7]. Para a produção de CAA recomenda-se não utilizar agregados graúdos com diâmetro máximo superior a 19 mm sendo comuns os tamanhos compreendidos entre 12,5 mm e 19 mm, por isso foi utilizado esta brita, pois a mesma apresenta um pequeno diâmetro fazendo com que o CAA passe por entre as barras da armadura sem que ocorra interrupção do fluxo do CAA.

Foi utilizado como agregado miúdo a areia lavada que estava disponível no estoque existente no LABMATEC. A análise granulométrica do agregado miúdo foi realizada levando-se em consideração a NBR NM 248/2003 [7] e a NBR 7211/2005 [8]. De acordo com essa última norma, o agregado miúdo pode ser utilizado para a execução de concreto, pois o módulo de finura no valor de 1,73 encontra-se no intervalo da zona utilizável inferior.

O cimento utilizado para a produção do CAA foi o cimento CP V – ARI – RS (Cimento Portland de alta resistência inicial – resistente ao sulfato). Portanto este cimento é indicado para a produção de concretos sujeitos a ambientes agressivos e aplicações que necessitam de uma elevada resistência à compressão inicial.

Estudo sobre a dosagem do concreto

Para a dosagem do CAA foi utilizado o método proposto por Tutikian [6] sendo este procedimento baseado nos métodos de dosagem para concretos convencionais do IPT/EPUSP, desenvolvido na escola politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Portanto o CAA é obtido a partir de um concreto convencional dosado pelo método IPT/EPUSP com a incorporação do aditivo superplastificante e de materiais finos.

Os traços realizados para a produção do CAA foram produzidos levando-se em consideração a substituição do resíduo na areia, em uma proporção de 5% e 10% em massa e a substituição do resíduo simultaneamente no cimento e na areia para uma proporção de 5% e 10% em massa, como mostra a tabela I.

Tabela I – Percentual de substituição do resíduo no CAA.

Traço	Substituição de resíduo no cimento	Substituição de resíduo na areia	Total de substituição de resíduo no CAA
CAA 1	0%	5%	5%
CAA 2	5%	5%	10%
CAA 3	10%	10%	20%
CAA 4	0%	10%	10%

Após a etapa de dosagem os traços foram misturados na betoneira e quando o concreto não apresentava a fluidez adequada mesmo após a utilização da máxima quantidade de aditivo, ocorria à adição de água em doses de 500g ate obter a fluidez necessária sem ocorrer à segregação. Os traços finais podem ser visualizados na tabela II.

Tabela II – Traços finais do CAA.

Traço	Cimento CP V - ARI - RS (Kg)	Resíduo no cimento (Kg)	Areia (Kg)	Resíduo na areia (Kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Aditivo (%)
CAA 1	6,700	-	14,257	0,750	18,492	4,830	2,00
CAA 2	6,365	0,335	14,257	0,750	18,492	6,019	2,00
CAA 3	6,120	0,680	13,708	1,523	18,768	6,506	2,00
CAA 4	6,700	-	13,507	1,500	18,492	5,697	2,00

Ensaio de caracterização (estado fresco)

Após os materiais constituintes do CAA serem dosados e pesados os mesmos foram separados conforme o traço, em seguida misturados na betoneira para a execução dos ensaios de *slump flow test*, funil – V e caixa L. Tais ensaios foram realizados conforme as normas NBR 15823-2/2010 [9], NBR 15823-5/2010 [10] e NBR 15823-4/2010 [11] respectivamente.

Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem e cura dos corpos de prova foi realizada de acordo com a norma NBR 5738/2003 [12]. É importante ressaltar que durante a realização do procedimento de moldagem e cura de corpos de prova do CAA, não foi utilizada vibração ou mesmo compactação do mesmo, sendo a moldagem dos corpos de prova feita somente devido ao próprio peso do CAA.

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, sendo desmoldados após 24 horas do momento de moldagem. Em seguida os corpos

de prova produzidos foram submersos em um tanque de cura constituído por água, para a realização dos ensaios de resistência à compressão após 7 e 28 dias, e de absorção capilar.

Ensaio no estado endurecido

A resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos produzidos foram determinados, de acordo com as prescrições da norma NBR 5739/2007 [13]. Os corpos de prova foram rompidos no LABMATEC, através da prensa servo controlada, modelo WAW 1000C – Time Group Inc, com uma velocidade de carregamento de 0,5 MPa/s que foi mantida constante durante todo o ensaio.

O ensaio de absorção capilar, massa específica e índice de vazios para o concreto endurecido foram realizados de acordo com a NBR 9778/2010 [14]. Para a realização deste ensaio foram moldados 12 corpos de prova sendo que após 28 dias de cura os mesmos foram retirados do tanque de água e armazenados em uma estufa por um período de 72 h.

Posteriormente a secagem os corpos de prova foram novamente submersos em água por mais 72 h para a determinação da massa saturada e submersa. A massa saturada foi obtida após a retirada dos corpos de prova da água, estes foram secos com um pano e pesados em uma balança. Em seguida foi obtida a massa submersa mediante a pesagem do corpo de prova submerso em água dentro de um balde.

O cálculo da absorção de água por imersão (A), Índice de vazios (I_v) e massa específica real (ρ_r) foram obtidos, respectivamente, por meio das equações 1, 2 e 3 respectivamente.

$$A (\%) = (m_{\text{sat}} - m_s) / m_s \times 100 \quad (1)$$

$$I_v (\%) = (m_{\text{sat}} - m_s) / (m_{\text{sat}} - m_i) \times 100 \quad (2)$$

$$\rho_r (\text{g/cm}^3) = m_s / (m_s - m_i) \quad (3)$$

onde:

m_s = massa do corpo de prova seco em estufa, em g;

m_{sat} = massa do corpo de prova saturado, em g;

m_i = massa do corpo de prova saturado, imerso em água, em g.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de caracterização (estado fresco)

Os resultados dos ensaios de *slump flow test*, funil – V e caixa L estão descritos na tabela III abaixo.

Tabela III – Resultados do ensaio do *slump flow test*, de funil – V e caixa L.

Traço	Substituição de resíduo no CAA (%)		Slump test	Funil - V	Caixa L
	Cimento	Areia	Espalhamento (600 – 800 mm)	Tempo (6 – 12 s)	H2/H1 (0,8 – 1,0)
CAA 1	0	5	610	3,00	0,80
CAA 2	5	5	640	6,00	0,83
CAA 3	10	10	790	6,34	0,90
CAA 4	0	10	615	7,18	0,80

É possível observar mediante o resultado da tabela III, que o CAA 1 apresentou um resultado inferior ao permitido para o ensaio de funil – V, esse resultado provavelmente ocorreu devido a utilização de óleo no equipamento durante a execução do ensaio para este traço facilitando a sua fluidez. Portanto com exceção deste, todos os outros traços desenvolvidos obtiveram resultados satisfatórios de fluidez e coesão, necessários para serem considerados concretos autoadensáveis.

Analisando os valores obtidos no ensaio de *slump flow test* (tabela III) e possível observar que os valores de *slump* foram menores para os traços com substituição do resíduo apenas na areia, ou seja, nestes concretos a coesão é maior quando comparados aos concretos com substituição de resíduo no cimento. É importante salientar que durante a realização do ensaio de *slump flow test* não foi observado visualmente a presença de segregação no CAA.

Mediante os resultados obtidos na tabela III, é notório que os traços com substituição do resíduo apenas na areia apresentam uma menor fluidez quando comparados com os traços que possuem substituição no cimento. É possível fazer essa afirmação porque os resultados dos ensaios de funil – V para os traços com substituição apenas na areia apresentam um tempo superior aos traços com substituição no cimento, com exceção do CAA 1 que obteve um valor de 3,0 s devido a presença de óleo no equipamento durante a sua execução.

Os resultados obtidos no ensaio de caixa – L (tabela III), mostram que os concretos que apresentaram uma maior dificuldade de passar por entre as barras, foram os concretos que tiveram substituição do resíduo apenas na areia porque para esses traços o valor do ensaio de caixa – L foi menor.

Ensaio no estado endurecido

A figura 1 abaixo demonstra os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos concretos autoadensáveis aos 7 e 28 dias, os valores expressos representam a média da resistência dos corpos de prova produzidos

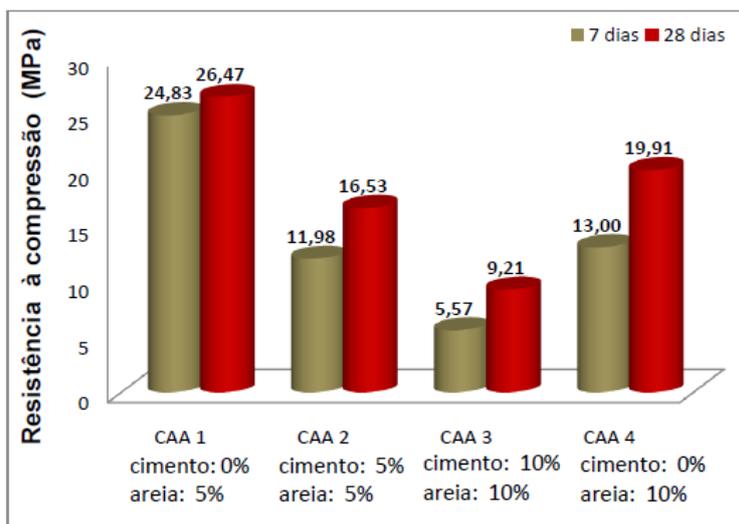


Figura 1 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão.

Diante dos resultados observados na figura 2, é notório um pequeno aumento da resistência dos concretos entre 7 e 28 dias de cura, o CAA 4 apresenta o maior ganho de resistência em valor absoluto (6,91 MPa), enquanto em porcentagem o CAA 3 apresenta o maior crescimento (65,32%). Este pequeno crescimento da resistência à compressão dos concretos ocorreu devido à utilização de um cimento CP – V (alta resistência inicial) logo o ganho de resistência neste período de cura foi pequeno.

É possível observar a ocorrência de uma queda na resistência à compressão nos concretos onde ocorreu uma substituição do cimento pelo resíduo, quando comparados com o concreto autoadensável com substituição do resíduo apenas na areia. Essa redução é comprovada, ao comparar após 28 dias de cura o CAA 1 com os traços CAA 2 e CAA 3, sendo possível perceber uma queda de resistência à compressão de 37,53% ou 9,94 MPa e de 65,20% ou 17,26 MPa, respectivamente.

O concreto com o maior teor de substituição de resíduo apenas na areia CAA 4 também apresentou uma perda de resistência, correspondente a 24,78% ou 6,56 MPa quando comparado com o concreto com menor teor de substituição na areia CAA 1.

A figura 2 mostra os valores médios obtidos nos ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica real respectivamente para os concretos produzidos após 28 dias de cura.

Analisando a figura 2 (a), é possível observar que o aumento na quantidade de resíduo aumenta a absorção de água no concreto. Portanto o resíduo deve atuar como uma espécie de “esponja” no concreto aumentando a absorção de água pelo mesmo. Caso a água absorvida tenha presença de elementos agressivos (íons de cloreto e sulfato), a durabilidade do concreto poderá ser afetada.

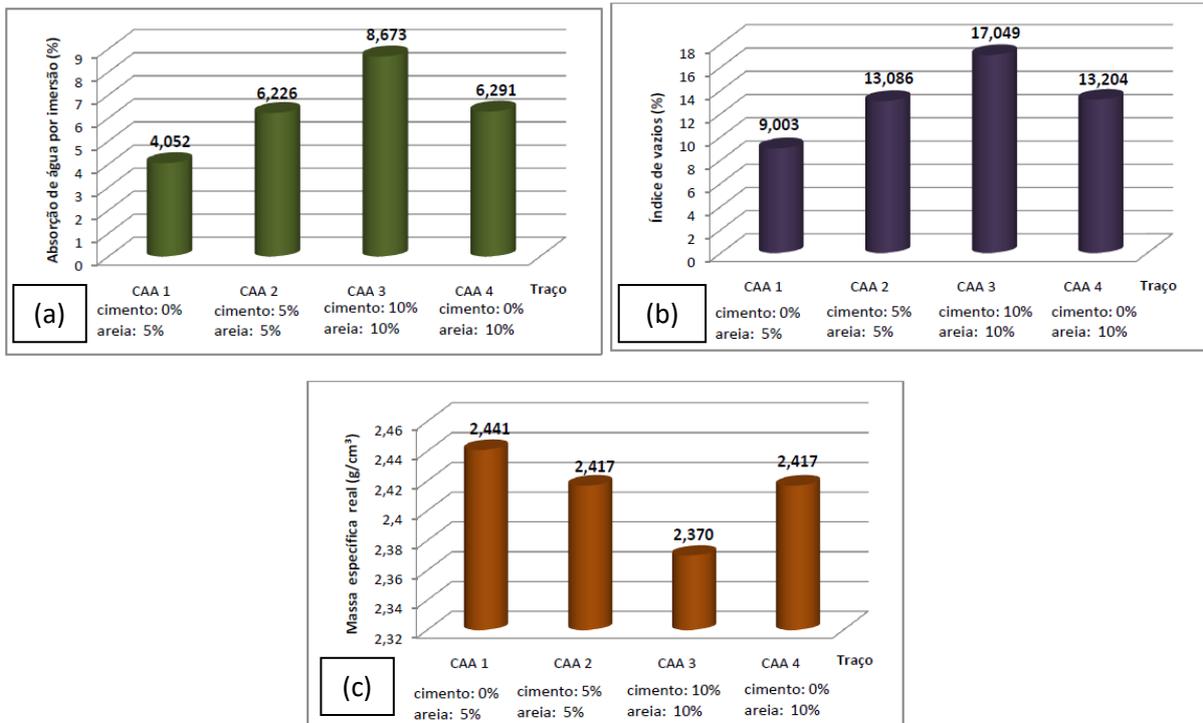


Figura 2 – Resultado dos ensaios de absorção (a), índice de vazios (b) e massa específica real (c).

O índice de vazios do concreto conforme mostra a figura 2 (b), também apresenta uma elevação mediante o aumento de substituição do resíduo no concreto, o que está relacionado com a perda de resistência à compressão.

Analisando a figura 2 (c), observa-se uma redução pouco significativa da massa específica real dos concretos com o aumento de resíduo, sendo a maior diferença entre os traços CAA 1 e CAA 3 que corresponde a $0,07 \text{ g/cm}^3$.

CONCLUSÕES

Para concretos com substituição do resíduo no cimento o aumento da substituição provoca o crescimento da fluidez e da habilidade passante do CAA.

O aumento da substituição tanto da areia como do cimento no CAA resulta em uma redução da resistência à compressão dos concretos.

O incremento da quantidade de resíduo no concreto provocou o aumento da absorção de água, que pode ser constituída por elementos agressivos (íons de cloreto e sulfato) que quando absorvidos em elevada quantidade prejudicam a durabilidade do concreto.

REFERÊNCIAS

- [1] DAROS, Bruna. **Estudo e desenvolvimento de concreto auto – adensável com metacaulinita**. 2009. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.
- [2] GOMES, P. C. C.; BARROS, A.R. de. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. 1. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2009.
- [3] ANDRADE, Clarice. **Materiais para construção civil à base de cinzas de madeira, lodo de ETA e resíduos da produção de cal**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, campus de Tecnologia, Curitiba, 2012.
- [4] HOPPEN, C.; PORTELLA, K.F.; ANDREOLLI, C.V. **Estudo de dosagem para incorporação do lodo de ETA em matriz de concreto, como forma de disposição final**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande: Abes, 2005.
- [5] CASTRO, Cesar Eduardo Carvalho. **Uso de lodo de estação de tratamento de água (LETA) para fabricação de pavimentos Pré-moldados de concreto**. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais, na área de concentração Cerâmica) – Universidade Federal de Itajubá, campus de Ciências Exatas, Itajubá, 2014.
- [6] TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 13 p.
- [8] _____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 15 p.
- [9] _____. **NBR 15823-2**: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento: Método do cone de Abrams. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 4 p.
- [10] _____. **NBR 15823-5**: Determinação da viscosidade: Método do funil em V. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 3 p.
- [11] _____. **NBR 15823-4**: Determinação da habilidade passante: Método da caixa L. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 4 p.
- [12] _____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- [13] _____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007. 13 p.
- [14] _____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. 3 ed. Rio de Janeiro, 2010. 3 p.