

ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM CINZA DO BAGAÇO DA CANA DE AÇUCAR, SÍLICA E FILER CALCÁRIO

Hugo Sefrian Peinado(UEM) hspeinado2@gmail.com
Romel Dias Vanderlei(UEM) rdvanderlei@uem.br
Marina Pietrobon(UEM) marina.pietrobon@hotmail.com

Resumo: No estudo da durabilidade de estruturas de edificações, o concreto autoadensável (CAA) tem ganhado grande relevância e tem sido tratado pela literatura técnica e científica como uma evolução na tecnologia do concreto. Por empregar finos em sua composição, o CAA potencializa a utilização de resíduos de outras indústrias, tais como a cinza do bagaço da cana de açúcar (CBC), e de adições minerais, como filer calcário e sílica ativa. A incorporação de agregados mais finos ou adições minerais leva à diminuição na distribuição do volume de poros na matriz cimentícia, podendo resultar na redução significativa da penetração de íons cloreto. Nesse contexto, constitui-se como objetivo da presente pesquisa avaliar a resistência à penetração de cloretos em concreto autoadensável (CAA) com substituição parcial do agregado miúdo por cinza do bagaço da cana de açúcar (CBC) e adição de filer calcário e sílica ativa. Para tanto, foram feitas quatro dosagens de concreto autoadensável, são essas: 1) CAA + CBC em substituição parcial à areia, sem adição de finos; 2) CAA + CBC + filer calcário, sendo a brita empregada suja (com pó de pedra); 3) CAA + CBC + filer calcário + brita lavada (sem pós de pedra); 4) CAA + CBC + sílica ativa; e, posteriormente, deu-se a análise da penetração de cloretos nos CPs por meio de aspersão de Nitrato de Prata. Conforme observado no estudo, houve maior penetração de cloreto nos corpos de prova de CAA sem a adição de finos. Em seguida, teve-se o CAA com 30% de filer brita lavada. O CAA 30% filer brita suja apresentou desempenho um pouco melhor que o CAA com brita lavada em relação à proteção contra penetração de cloretos. Por fim, identificou-se que o melhor desempenho quanto à proteção frente aos cloretos foi observado no CAA 5% sílica.

Palavras-chave: Durabilidade de estruturas. Concreto armado. Agentes Agressivos.

ANALYSIS OF CHLORIDES PENETRATION IN SELF-COMPACTING CONCRETE WITH SUGAR CANE BAGASSE ASH, ACTIVE SILICA AND LIMESTONE FILLER

Abstract: In the study of the durability of building structures, self-compacting concrete (SCC) has gained great relevance and has been treated by technical and scientific literature as an evolution in concrete technology. By employing fines in its composition, the SCC enhances the use of waste from other industries, such as sugarcane bagasse ash (SCBA), and mineral additions such as limestone fillings and active silica. The incorporation of finer aggregates or mineral additions leads to a decrease in the pore volume distribution in the cementitious matrix, which may result in a significant reduction in the penetration of chloride ions. In this context, the aim of this research is to evaluate the resistance to penetration of chlorides in self-compacting concrete (SCC) with partial replacement of the fine aggregate by ash from sugarcane bagasse (SCBA) and addition of limestone filler and active silica. In order to do this, four dosages of self-compacting concrete were made: 1) SCC + SCBA in partial replacement to the sand, without addition of fines; 2) SCC + SCBA + limestone filler, the aggregate being used dirty (with stone powder); 3) SCC + SCBA + limestone filler + washed aggregate (without stone powders); 4) SCC + SCBA + active silica; and, later, it was analyzed the chlorides penetration in the specimens by sprinkling Silver Nitrate. As observed in the study, there was greater penetration of chloride in the SCC test specimens without the addition of fines. Thereafter, the SCC with 30% filler and washed gravel. The SCC 30% filler and not washed gravel presented a slightly better performance than the SCC with washed gravel in relation to the protection against chloride penetration. Finally, it was identified that the best performance against chloride protection was observed in SCC 5% silica.

Keywords: Durability of structures. Reinforced concrete. Aggressive Agents.

1. INTRODUÇÃO

Um concreto durável, conforme destacam Mehta e Monteiro (2008), deverá preservar sua forma, qualidade e capacidade de usos originais quando submetido aos ambientes para o qual foi projetado. De acordo com a ACI 201.2R (2008), a durabilidade do concreto de cimento Portland é determinada por sua capacidade de resistir à ação de intempéries, ataques químicos (sulfatos e cloretos, por exemplo), à abrasão ou a qualquer outro tipo de deterioração. Aitcin (2000) destaca que a expressão “durabilidade do concreto” caracteriza-se pela resistência deste material ao ataque de agentes físicos e químicos. Ainda, segundo Figueiredo (2005), a literatura sobre durabilidade de estruturas em concreto armado frequentemente aborda a temática de cloretos, ressaltando que esse é um dos maiores causados de problemas relacionados à corrosão de armaduras.

No estudo da durabilidade de estruturas de edificações, o concreto autoadensável (CAA) tem ganhado grande relevância e tem sido tratado pela literatura técnica e científica como uma evolução na tecnologia do concreto (GOMES, BARROS, 2009). A ABNT NBR 15823-1:2010 define concreto autoadensável como o concreto que é capaz de fluir, se autoadensar pelo seu peso próprio, preenchendo a forma e passando por embutidos (armaduras, dutos e insertos), mantendo sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento. Segundo Okamura e Ouchi (2003) e Gomes e Barros (2009), as principais razões para o emprego de concreto autoadensável são: aumento da durabilidade das estruturas em concreto; encurtamento do período de construção; garantia da compactação do concreto estrutural, especialmente em zonas confinadas onde a compactação por vibração mecânica ou manual é difícil; eliminação de ruídos provenientes da vibração.

O interesse por CAA em todo o mundo tem crescido e se destacado pelos inúmeros trabalhos publicados em congressos, simpósios e seminários que tratam especificamente do CAA e eventos que tratam de tecnologia do concreto e pelas várias aplicações que são justificadas pelas vantagens atrativas para empresas construtoras e incorporadoras. Na América do Sul, especificamente no Brasil, não é diferente; as pesquisas para o desenvolvimento do material e aplicação vêm crescendo significativamente (CORDEIRO, 2006; TUTIKIAN, DAL MOLIN, 2008; GOMES, BARROS, 2009; DAL MOLIN FILHO, 2012; NAGANO, 2014).

Do ponto de vista dos materiais, o CAA utiliza os mesmos materiais do concreto convencional, agregando também as adições finas, os aditivos superplastificante e os agentes modificadores de viscosidade VMA (TUTIKIAN; HELENE, 2011). A introdução de finos atua no empacotamento, preenchendo os vazios, proporcionando maior densidade da pasta, prevenindo dessa forma o surgimento de futuras patologias devido à dificuldade da penetração de agentes agressivos (NAGANO, 2014).

Nesse contexto, surgem os estudos de materiais finos, tais como a cinza do bagaço da cana de açúcar (CBC), filer calcário, sílica ativa, dentre diversos outros presentes na literatura científica.

A geração da CBC ocorre na queima do bagaço nas caldeiras durante o processo de cogeração de energia, sendo essa uma fase complementar do aproveitamento do bagaço de cana de açúcar no processo de obtenção do açúcar e álcool (FREITAS, 2005).

Após o processo de queima do bagaço da cana de açúcar, o principal destino para a CBC são os depósitos junto ao local de saída, de onde serão removidas por caminhões tendo como destino a disposição em lavouras. No entanto, conforme destacam Paula (2006) e Altoé (2013), esta aplicação é inadequada e não atribui valor agregado à cinza do bagaço da cana de açúcar, uma vez que a CBC não possui características fertilizantes.

1.2. Objetivo

Constitui-se como objetivo do presente trabalho avaliar a resistência à penetração de cloretos em concreto autoadensável (CAA) com substituição parcial do agregado miúdo por cinza do bagaço da cana de açúcar (CBC) e adição de filer calcário e sílica ativa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, procedeu-se à caracterização dos materiais, dosagem do concreto, imersão do concreto, ruptura, aspersão de nitrato de prata, medição e análise dos dados.

2.1. Caracterização dos materiais

O cimento utilizado foi o CPV-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), produzido segundo critérios da Norma ABNT NBR 5733:1991. Realizou-se os ensaios de verificação da finura, dos tempos de início e fim de pega e resistência à compressão segundo as Normas ABNT NBR 11579:2013, ABNT NBR NM 43/2003, ABNT NBR NM 65:2003 e ABNT NBR 7215:1996.

O agregado miúdo utilizado foi areia de origem quartzosa da região de Maringá – Paraná. Os ensaios seguiram os critérios das Normas ABNT NBR NM 30:2001, ABNT NBR NM 45:2006, ABNT NBR NM 52:2009, ABNT NBR NM 248:2003 e ABNT NBR 7211:2009.

Utilizou-se como agregado graúdo brita proveniente de uma pedreira da região de Maringá – Paraná. Além disso, foram denominados dois “tipos” de brita, uma denominada brita suja, para designar a brita que possui finos provenientes da moagem da rocha e, a outra, brita lavada, para indicar a brita que foi lavada com auxílio de uma peneira, de modo a retirar o material fino presente em sua composição. A escolha da abertura da peneira foi baseada na curva granulométrica da brita com pó, de modo que após ser lavada, o agregado perdesse somente os finos.

Os ensaios de caracterização foram realizados de acordo com as normas ABNT NBR NM 45:2006, ABNT NBR NM 46:2003, ABNT NBR NM 53:2009, ABNT NBR NM 248:2003, ABNT NBR 7211:2009.

A utilização e análise granulométrica da CBC foi realizada de acordo com a ABNT NBR 7181:1988, por meio de sedimentação e peneiramento utilizando material proveniente da região de Maringá.

A ABNT NBR 7225:1993 define pó de pedra como sendo um material proveniente do britamento da pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 0,075mm (dimensão equivalente àquela definida para material pulverulento, conforme ABNT NBR NM 46:2003). Na moagem da brita, os finos provenientes da fragmentação da rocha ficam presentes em sua superfície. Segundo Lang (2006), a fração fina da areia britada, subproduto na produção da brita, cujas partículas têm diâmetro inferior 0,075mm, é classificada como material pulverulento. Em misturas cimentícias, é considerada uma adição mineral que pode ou não provocar reação pozolânica.

2.1.2. Dosagem do material

Para o presente projeto de pesquisa, foram realizadas as seguintes dosagens de argamassa:

- Dosagem da argamassa autoadensável com substituição do agregado miúdo em 40%, relação cimento/agregado miúdo 1:2, superplastificante/cimento entre 0,4 e 0,6%, conforme estabelece Santos (2016), e relação água/cimento 0,5, segundo estabelece Nagano (2014), para obtenção da massa específica da argamassa;
- Dosagem da argamassa autoadensável com substituição do agregado miúdo em 40%, relação cimento/agregado miúdo 1:2, superplastificante/cimento entre 0,4 e 0,6% e adição de filer/cimento igual a 0,3, conforme estabelece Santos (2016), e relação água/cimento 0,5, segundo estabelece Nagano (2014), para obtenção da massa específica da argamassa;
- Dosagem da argamassa autoadensável com substituição do agregado miúdo em 40%, relação cimento/agregado miúdo 1:2, superplastificante/cimento entre 0,4 e 0,6% e adição de sílica/cimento igual a 0,05, conforme estabelece Santos (2016), e relação água/cimento 0,5, segundo estabelece Nagano (2014), para obtenção da massa específica da argamassa;

Além disso, foram realizadas as seguintes dosagens do CAA:

- Dosagem do CAA com teor de substituição do agregado miúdo por CBC em 40%;
- Dosagem do CAA com teor de substituição do agregado miúdo por CBC em 40% e adição de filer calcário no teor de 30%;
- Dosagem do CAA com teor de substituição do agregado miúdo por CBC em 40% e adição de sílica ativa no teor de 5%.

Por fim, os traços de concreto obtidos e utilizados para a dosagem dos concretos a serem analisados na presente pesquisa são indicados no Quadro 1.

Quadro 1 – Traço dos concretos empregados na presente pesquisa

Classificação	Traço do CAA em estudo							
	Cimento	Areia	CBC	Filer	Sílica ativa	Brita	Aditivo Superplast.	Água/cimento
Sem finos	1	1,2	0,8	-	-	2,93	0,004	0,5
30% Filer Brita Suja	1	1,2	0,8	0,3	-	3,16	0,004	0,5
30% Filer Brita Lavada	1	1,2	0,8	0,3	-	3,16	0,004	0,5
5% Sílica	1	1,2	0,8	-	0,05	2,95	0,05%	0,5

Fonte: Os autores (2018)

Foram moldados seis corpos de prova (CPs) para cada um dos concretos analisados, de modo que houvesse um CP para cada uma das datas de análise: 7, 14, 28, 56, 91 e 182 dias após o período de cura.

2.1.3. Imersão dos corpos de prova em solução de cloretos

Para este ensaio, após a secagem de 28 dias dos corpos-de-prova, os mesmos foram desenformados e cortados ao meio, ao longo da altura, mantendo um padrão aproximado de 10 centímetro de altura. Utilizou-se impermeabilizante de concreto para selar as extremidades dos corpos-de-prova que, após a secagem. Os CPs foram submersos em uma solução com concentração de 3,0% cloreto de sódio (NaCl) (concentração média de sal na água do mar) e mantidos até a data de ruptura e análise da profundidade de penetração dos cloretos, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Imersão dos corpos-de-prova



Fonte: Os autores (2018)

2.1.4. Ruptura por compressão diametral e medição da penetração de cloretos

Após o tempo de cura de 28 dias, os corpos-de-prova foram mantidos submersos de modo que cada traço tivesse um CP retirado aos 7, 14, 28, 56, 91 e 182 dias e, na sequência, fosse submetido à ruptura por meio da compressão diametral.

Com a ruptura de cada CP na idade indicada, foi aspergida solução de Nitrato de Prata (AgNO_3) sobre a face aberta dos CPs e, após 5 minutos de repouso para que a solução reagisse, eram evidenciando as zonas em que havia penetração de cloretos, uma vez que onde havia contaminação, a superfície ficava esbranquiçada, enquanto que onde não havia contaminação por cloretos no concreto, a superfície ficava marrom, conforme se observa nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Medição de CP de CAA 5% sílica aos 28 dias



Fonte: Os autores (2018)

Figura 3 – Medição de CP de CAA 30% filer brita lavada aos 91 dias



Fonte: Os autores (2018).

Com o auxílio de um paquímetro, foram coletadas dez medidas de cada lateral (direita e esquerda) de cada metade do CP, totalizando 40 medidas de penetração de cloretos por CP por idade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das medições realizadas em cada um dos CPs para as idades determinadas na presente pesquisa, fez-se a média dos 40 valores obtidos em cada uma das medições que resultou nos dados presentes na Tabela 1.

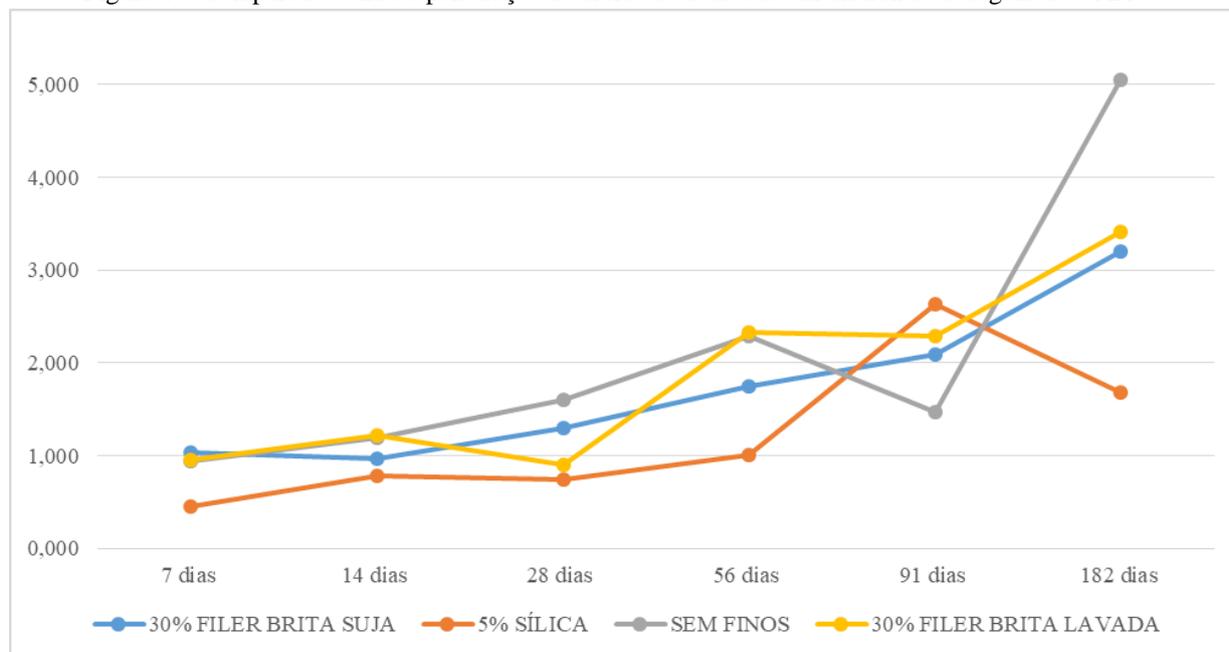
Tabela 1 – Penetração de cloreto de sódio em diferentes idades de diferentes traços de CAA

DIAS	Penetração média de cloretos nos CPs para diferentes idades (cm)			
	SEM FINOS	30% FILER BRITA SUJA	30% FILER BRITA LAVADA	5% SÍLICA
7 dias	0,941	1,034	0,958	0,448
14 dias	1,187	0,964	1,218	0,785
28 dias	1,608	1,303	0,905	0,749
56 dias	2,294	1,749	2,329	1,005
91 dias	1,475	2,085	2,286	2,637
182 dias	5,049	3,205	3,408	1,680
Percentual	100,00%	63,48%	67,50%	33,27%

Fonte: Os autores (2018)

Os resultados de penetração de cloretos em cada um dos CAA dosados em função do tempo que ficaram imersos em água com solução de cloretos também são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Comparativo entre a penetração de cloretos observada em diferentes dosagens de CAA



Fonte: Os autores (2018)

Conforme se observa na Tabela 1 na Figura 4, houve maior penetração de cloreto de sódio nos corpos de prova de CAA sem a adição de finos, chegando a 5,049 cm de penetração no CP aos 182 dias. Seguido do CAA sem finos, tem-se o CAA com 30% de filler brita lavada, que chegou a 3,408 cm de penetração aos 182 dias, que corresponde à 67,50% da penetração observada no CAA sem finos. O CAA 30% filler brita suja apresentou desempenho um pouco maior que o CAA com brita lavada em relação à proteção contra penetração de cloretos, apresentando penetração de 3,205 cm em 182 dias (63,48% da penetração observada no CAA sem finos). Por fim, identificou-se que o melhor desempenho frente à proteção contra penetração de cloretos foi observado no CAA 5% sílica, que chegou a 1,680cm e 182 dias (33,27% da penetração observada no CAA sem finos). Isso pode ser justificado pelo fato de a sílica ativa ter uma grande concentração de SiO_2 em sua composição que, por ser extremamente fino, adere facilmente à argamassa do concreto, cobrindo seus poros de forma mais eficiente, diminuindo a permeabilidade do concreto e, portanto, melhorando sua resistência à penetração de agentes agressivos.

Em relação ao CAA 30% filler brita suja e o CAA 30% filler brita lavada, observa-se que não houve diferença expressiva da penetração de cloretos entre esses CAA. Mesmo sendo uma diferença pequena, vê-se que o CAA 30% filler brita suja que, em sua composição, apresentou pó de britagem em um teor de 2,8% (material pulverulento) mostrou menor permeabilidade aos cloretos que o CAA 30% filler brita lavada, que não apresentava esses materiais finos em sua composição. Desse modo, verifica-se que, mesmo apresentando teor de material pulverulento

superior ao limite de 1% trazido pela ABNT NBR 7211:2009, houve ganho na durabilidade do concreto com a presença desses materiais finos.

4. CONCLUSÕES

Observa-se, por meio da presente pesquisa, que o melhor desempenho em relação à barreira contra a penetração de cloretos foi observado no concreto autoadensável com adição de 5% de sílica e no CAA com 30% de filler e pó de pedra no teor de 2,8%. Os piores resultados foram observados no CAA com 30% filler e brita lavada e no CAA sem finos em sua composição. Esses resultados coincidem com o que trazem Hoffman (2001) e Nagano (2014), uma vez que os autores indicam que com a introdução de finos no CAA, há maior preenchimento dos vazios do concreto, proporcionando maior densidade da pasta, prevenindo, dessa forma, o surgimento de futuras patologias devido à maior dificuldade da penetração de agentes agressivos. Portanto, enfatiza-se a necessidade do estudo da incorporação de finos no CAA, não apenas em função do atendimento aos parâmetros do concreto no estado fresco, como também no estado endurecido, contribuindo com o aprimoramento da barreira do concreto frente ao ingresso de agentes agressivos.

REFERÊNCIAS

ACI 201.2R. **Guide to Durable Concrete**. American Concrete Institute: Farmington Hills, MI; 2008.

AÏTCIN, Pierre-Claude. **Concreto de alto desempenho**. Tradução: Geraldo G. Serra. 1. ed. São Paulo: PINI, 2000.

ALTOÉ, S.P.S. **Estudo da potencialidade da utilização da mistura de cinza do bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus na confecção de concretos e pavers para pavimentação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15823-1**: Concreto auto-adensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. 445f. Tese de Doutorado. Pósgraduação em Ciências de Engenharia e materiais. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

DAL MOLIN FILHO, R. G. **Concreto autoadensável com cinza do bagaço da cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

FIGUEIREDO, E.P. Efeitos da Carbonatação e de Cloretos no Concreto. . In: ISAIA, G.C. (Org.). **Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005. vol. 2. p. 829855.

FREITAS, E. S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos Goytacazes para uso na construção civil.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GOMES, P. C. C., BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável.** São Paulo: Ed. PINI, 2009, 165p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

NAGANO, M.F. **Dosagem do concreto autoadensável utilizando cinza do bagaço da cana de açúcar.** 2014. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Unidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. Self-compacting concrete. In: **Jornal of advance concrete technology**, Vol. 1, n. 1, p 5-15, 2003.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.** 2006. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SANTOS, V. C. D. **Dosagem da argamassa com filer calcário e cinza do bagaço da cana de açúcar.** 2016. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: PINI, 2008.

TUTIKIAN, B.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: Geraldo C. Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011, v. 1, p. 415-451.