CARACTERIZAÇÃO DOS CONCRETOS CONVENCIONAL E AUTO-ADENSÁVEL FABRICADOS EM SERGIPE DIANTE DA CORROSÃO ESTRUTURAL.

FRANCISCO LUIZ CAMPOS LOPES[1], HENRIQUE CARVALHO SANTOS MELO[2], CARLOS HENRIQUE DE CARVALHO[3], FRANCISCO LUIZ GUMES LOPES[4];

[1] Discente de graduação em Engenharia Civil - IFS. Bolsista de Iniciação Científica. e-mail: Francisco.campos.lopes@gmail.com;
[2] Discente de graduação em Engenharia Civil - IFS. Bolsista de Iniciação Científica. e-mail: henriquecarvalho.eng@gmail.com;
[3] Professor do Curso de Engenharia civil - IFS. e-mail: conscarvalho@gmail.com;
[4] Professor da coordenação de química - IFS. e-mail: francisco.gumes@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: O concreto auto-adensável (CAA) é uma tecnologia de materiais relativamente nova em algumas regiões do Brasil. O conhecimento de sua durabilidade frente às manifestações patológicas, principalmente corrosão estrutural, é indispensável na sua caracterização. O artigo objetivou comparar o desempenho dos concretos auto-adensável e convencional, fabricados por concreteiras em Aracaju-SE, frente à corrosão estrutural utilizando o equipamento GECOR 8. Utilizaram-se três corpos de prova prismáticos para cada tipo de concreto, com barras e estribos limpos quimicamente conforme prescrito pela ASTM G1-90. Os corpos de prova foram moldados *in loco* e desformados em laboratório onde foram submetidos à cura hidráulica de 28 dias. O equipamento GECOR 8 foi empregado para determinação do potencial e taxa de corrosão dos corpos de prova. Evidenciaram-se falhas cometidas nas fases de concepção e controle de qualidade na produção do CAA. A partir dos dados obtidos com o GECOR 8. Concluiu-se que as manifestações patológicas no concreto, decorrentes de uma má concretagem e má dosagem de aditivos, é um fator diretamente proporcional ao risco de penetração de agentes agressivos, causadores da corrosão estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão estrutural; Concreto auto-adensável; Ensaios não Destrutivos; GECOR 8 .

CHARACTERIZATION OF CONVENTIONAL AND SELF-SUSTAINABLE CONCRETES MANUFACTURED IN SERGIPE IN RESPECT OF STRUCTURAL CORROSION

ABSTRACT: Self-compacting concrete (CAA) is a relatively new material technology in some regions of Brazil. The knowledge of its durability against the pathological manifestations, mainly structural corrosion, is indispensable in its characterization. The objective of this study was to compare the performance of self-compacting and conventional concretes made by concrete in Aracaju-SE against structural corrosion using GECOR 8 equipment. Three prismatic specimens were used for each type of concrete with bars and stirrups chemically cleaned as prescribed by ASTM G1-90. The specimens were molded in loco and deformed in a laboratory where they were submitted to a 28 day hydraulic cure. The GECOR 8 equipment was used to determine the potential and corrosion rate of the specimens. Failures were observed in the design and quality control phases of CAA production. From the data obtained with GECOR 8, it can be concluded that the pathological manifestations in the concrete, due to bad concrete and poor dosage of additives, is a factor directly proportional to the risk of penetration of aggressive agents, causers of structural corrosion.

KEY WORDS: Structural corrosion; Self-compacting concrete; Non-destructive testing; GECOR 8

INTRODUÇÃO

O concreto durante um longo tempo foi considerado, equivocadamente, um material perene dispensável de manutenção, como explicita Graeff (2007). Com o desenvolvimento tecnológico criou-se uma ciência das suas limitações de durabilidade. A evolução dos materiais na Engenharia Civil requer controles tecnológicos mais criteriosos que são fundamentais para a garantia do pleno desempenho estrutural.

O concreto auto-adensável (CAA) ainda é uma tecnologia nova em algumas regiões do Brasil. O EFNARC (2012) considera o CAA como um concreto que contempla três propriedades fundamentais: fluidez, propriedade do CAA de fluir dentro da forma preenchendo todos os espaços; habilidade passante, capacidade de movimentação pela forma, passando por entre as armaduras sem obstrução do fluxo ou segregação; resistência à segregação, competência do CAA de manter-se coeso ou fluir dentro das formas, sem haver separação entre a pasta de cimento e os agregados.

O CAA apresenta um maior teor de finos responsáveis por manter propriedades inerentes a ele, como descrevem Tutikian e Dal Molin (2008). A maior quantidade desse material contribui para a diminuição da porosidade do concreto, dificultando a penetração de agentes agressivos.

A caracterização do CAA frente às patologias é indispensável para o seu uso, principalmente à corrosão estrutural, por ser a mais recorrente na construção civil brasileira. IPEN (2002) e Castro e Tunes (2003) afirmaram que o impacto econômico causado pela corrosão estrutural pode chegar a 5% do PIB de um país industrializado, além de causar severos acidentes devido à ruína da estrutura.

O uso da técnica de métodos não destrutivos para a investigação e monitoramento da corrosão estrutural, como descreve Dotto (2006), oferece ao engenheiro um conhecimento de sua estrutura no estado atual e uma determinada previsão do comportamento da patologia, permitindo assim uma ação de recuperação ou postergação, antes mesmo que se haja a patologia instalada de maneira evidente e crítica, evitando assim gastos com recuperações maiores e riscos estruturais nas construções.

THE GECOR 8 CORROSION RATE METER INSTRUCTION MANUAL (2002) define o GECOR 8 como sendo um aparelho de ensaio não destrutivo para identificação e caracterização do processo corrosivo em estruturas, oferece ao usuário a obtenção de maneira rápida e prática de dados fundamentais para a compreensão do estado da estrutura ante à corrosão estrutural, como o potencial de corrosão, a resistividade, o risco de corrosão e a taxa de corrosão, permitindo assim uma análise prévia de como aquela estrutura irá se comportar em determinadas condições por determinado tempo.

O artigo objetivou comparar o desempenho dos concretos auto-adensável e convencional, fabricados por concreteiras em Aracaju-SE, devido à corrosão estrutural com o equipamento GECOR 8, verificando também o seu comportamento em concretagens ordinárias, por meio de corpos de provas que simularam pilares/vigas de maneira qualitativa.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a simulação de um elemento estrutural, idealizou-se para cada tipo de concreto 3 corpos prismáticos. Os corpos tinham base de 200 mm por 300 mm com altura de 500 mm, 6 barras com diâmetro de 12,5 mm de CA 50, com comprimento de 500 mm, 2 estribos com diâmetro de 6,3 mm de CA 50 de 100 mm por 200 mm e recobrimento de 50 mm garantido por espaçador de argamassa.

Para garantir que as barras e estribos não possuíssem em sua superfície nenhum óxido ou agente agressivo, foi realizada a limpeza química como prescrito pela ASTM G1-90, utilizando a solução Clark (20 g de trióxido de antimônio, 50 g de cloreto estanhoso e 1000 ml de ácido clorídrico).

A empresa de concretagem A forneceu o concreto convencional (CCV), cujo traço é exposto na Tabela 1, para a moldagem dos corpos prismáticos. Foram utilizadas fôrmas de compensado (12 mm) e um desmoldante.

O adensamento foi realizado de acordo com a NBR 14931 (2004), por um operário da empresa A. Após transcorridas 48 horas os corpos foram retirados das fôrmas e colocados na cura imersa.

A concretagem dos Corpos de prova de Concreto Auto-Adensável (CAA) foi realizada em uma obra localizada em uma cidade adjacente à capital Sergipana. O concreto foi fornecido pela empresa B atuante no estado com sede na capital. O CAA foi usado na obra para concretagem de paredes e lajes. Foram utilizadas fôrmas de compensado (12 mm) e desmoldante.

Tabela 1. Traço do CCV fornecido pela empresa A.

Concreto Convencional Bombeável					
Fck 25 MPA		**Slump 100 ± 20**		**Pega 12 horas**	
CP V ARI	**Areia média**	**Brita 0**	**Brita 3/4**	**Água**	**Aditivos**
265 KG	883 KG	267 KG	721 KG	180 KG (a/c 0,68)	1,7 KG

A empresa B, recusou disponibilizar o traço do CAA. O traço foi obtido via nota fiscal entregue no canteiro de obra (Tabela 2). O fino utilizado no CAA foi a escória de alto forno (AF).

O efeito da escória de alto forno no CAA fresco é o aumento da coesão e redução da exsudação e segregação, no entanto não contribui para a fluidez em função da forma e textura das partículas. No estado endurecido ela pouco influencia no aumento da durabilidade, como descreve Tutikian e Dal Molin (2008).

Tabela 2. Traço do CAA obtido via nota fiscal em obra.

Concreto Bombeável Auto-Adensável (Fck 20 MPA)			
CP II-F 40 AF	B0	Pega 12 horas	FibroMac 12

A concretagem dos Corpos foi realizada pelos próprios operários da empresa B. A desforma e cura dos corpos foi realizada 28h depois da concretagem.

Para realizar ensaios com o GECOR 8.0 da JAMES INDUSTRIES, inicialmente foi realizado o ensaio de pacometria com o PROFOMETER 5+ da PROCEQ para determinar a posição e cobrimento das armaduras de aço.

Com os pontos já determinados, o GECOR 8 foi empregado para determinação do potencial de corrosão e taxa de corrosão dos corpos de prova. O ensaio foi realizado na face que apresentou maior incidência de patologias recorrentes da concretagem, que facilitam a penetração de agentes agressivos. Para o mapeamento do potencial de corrosão foram determinados 10 pontos para medição do potencial, ao longo de cada barra de aço do corpo, totalizando 30 medições. Foi realizada uma média dos valores do potencial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise qualitativa dos corpos de prova foi elaborada através da análise visual de suas faces, destacando manifestações patológicas que facilitariam o processo de penetração de agentes agressivos às armaduras de aço.

Os corpos de concreto convencional apresentaram patologias recorrentes de concretagem, como: pontos de vazios provocados por falha no adensamento, segregação (vazios acentuados) do concreto ao redor dos espaçadores, nas arestas e base do corpo, indicando que o concreto não se adensou corretamente na fôrma. O vazamento da nata de cimento da fôrma (exsudação) durante concretagem pode ter sido responsável pela porosidade e segregação nas arestas do corpo;

Os corpos de concreto auto-adensável por sua vez apresentaram patologias decorrente da sua má dosagem. A segregação do concreto ao redor dos espaçadores indicou a falta de habilidade passante e coesão do concreto. A base dos corpos apresentou elevada densidade de vazios causada pela falta de adensamento e coesão do concreto, popularmente conhecida como “bexigas”. O Corpo D e parte do E tiveram aproximadamente de 1.5 mm do cobrimento lixiviado em contato com água de cura, devido à má dosagem do aditivo superplastificante.

No corpo E ficou evidente o erro de dosagem do CAA. A parte inferior do corpo, no momento da desforma, ainda estava quente e mais escura do que sua metade superior, que já apresentava uma face mais cinzenta, com o aspecto de concreto endurecido. Isto se deve ao fato de que o corpo foi preenchido com o concreto de dois caminhões betoneiras distintos, revelando que um caminhão continha o concreto mal dosado.

Um dos possíveis fatores que alterou o tempo de pega de 12 para mais de 24 horas pode ter sido má dosagem do aditivo Superplastificante no CAA. O IBI (2018) e Roncero (2000), afirmam que

a adição de Plastificantes e Superplastificantes conduzem alterações não só nas propriedades no estado fresco da pasta e concreto, mas também no comportamento dos estágios subseqüentes da hidratação. Um desses efeitos é o retardo do tempo de pega, o qual aumenta com a dosagem empregada.

Evidenciou-se que o defeito mais recorrente nos corpos foi a segregação do concreto causada pelo mau adensamento e/ou pela exsudação, até mesmo nos concretos auto-adensáveis, mostrando a falha no controle tecnológico quanto à dosagem do teor de água e finos. A falta de coesão do concreto ocasiona a segregação e a exsudação. Para o CAA, a falta de consistência do concreto está associada ao mau uso ou má dosagem dos finos e, quanto ao CCV, o adensamento excessivo pode ocasionar manifestações patológicas de segregação e exsudação do concreto.

Em situações nas quais o CAA é mal dosado, criam-se regiões críticas por onde agentes agressivos permeiam de maneira deliberada, provocando danos severos à estrutura, principalmente corrosão das armaduras.

Cunha e Helene (2001) descrevem que para a corrosão se instalar é necessário e indispensável a presença de um eletrólito, de uma diferença de potencial e a disponibilidade de oxigênio. Essa diferença de potencial é evidenciada pelo GECOR 8 (Tabela 3). A partir dos dados da Tabela 3 pode-se inferir que, apesar da má dosagem, o CAA prevaleceu com maior durabilidade diante do CCV, possivelmente face o acréscimo de finos.

Tabela 3. Resultados médios dos ensaios com o GECOR 8 nos corpos de prova.

Corpo	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Taxa De Corrosão (µA/cm²)	0,975	1,093	0,940	0,505	0,460	0,745
Pot. De Corrosão (mV)	-285,21	-204,33	-269,07	-242,60	-295,79	-203,67

A partir dos dados acima pode-se inferir que, apesar da má dosagem, o CAA prevaleceu com maior durabilidade diante do CCV, possivelmente face o acréscimo de finos.

O manual do GECOR 8 sugere limites para a estimativa do risco de corrosão, com base nos valores dos potenciais obtidos com o eletrodo de sulfato de cobre, como sendo: baixo para potenciais mais positivos que -200 mV, médio para potenciais entre -200 mV e -350 mV e alto para valores mais negativos que -350 mV . A tabela 4 mostra o potencial de corrosão dos corpos de prova ensaiados.

Tabela 4. Risco de corrosão devido ao potencial de corrosão nos corpos de prova e análise da taxa de corrosão nos corpos de prova de acordo com Andrade e Alonso (1996).

Risco De Corrosão					
Corpo A	**Corpo B**	**Corpo C**	**Corpo D**	**Corpo E**	**Corpo F**
Médio	Baixo	Médio	Médio	Médio	Baixo
Taxa de corrosão					
Alta	Muito Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta

A taxa de corrosão indica uma corrente atuante nas armaduras que, baseada na lei de Faraday, causa a perda de massa (oxidação). A partir da taxa tem-se uma idéia da intensidade de corrosão atuante na estrutura, bem como sua velocidade, dado relevante para um eventual monitoramento da corrosão estrutural.

Andrade e Alonso (1996) estabeleceram parâmetros de análise para a taxa de corrosão, onde abaixo de 0,1 ela é desprezível, entre 0,1 e 0,5 é moderada, de 0,5 a 1 é alta e acima de 1 a taxa de corrosão é considerada muito alta. A Tabela 4 evidencia a taxa de corrosão encontrada nos corpos de prova através do GECOR 8.

Pode-se afirmar que os corpos se encontram na situação média de risco, evidenciando o efeito negativo da má concretagem e dosagem do concreto tendo em vista a durabilidade. O indicativo da taxa de corrosão permite inferir que os corpos de concreto auto-adensável tendem a apresentar uma maior durabilidade diante da corrosão estrutural.

CONCLUSÃO

O concreto auto-adensável foi concebido para que fossem sanadas manifestações patológicas recorrentes ao concreto convencional. Porém, com a análise visual pós-desforma e cura, foi factível concluir que o CAA produzido pela empresa B não teve uma concepção adequada na escolha do traço, bem como falta de um controle tecnológico imperioso durante sua produção.

Os nexos causais (concepção e produção) fomentaram manifestações patológicas semelhantes àquelas recorrentes no uso do concreto convencional.

Os ensaios realizados com o GECOR 8 evidenciaram a importância dos finos no CAA, pois fomentaram um melhor desempenho diante da corrosão estrutural, a partir da correlação dos dados obtidos no GECOR 8 e das manifestações patológicas encontradas nos corpos de prova, fica evidente que os vazios estruturais, juntamente com o aumento da porosidade resultantes da má concretagem e dosagem do concreto, facilitam a penetração de agentes agressivos às armaduras de aço, como cloretos, causando a corrosão estrutural.

Não foi possível obter uma caracterização fidedigna dos materiais, já que houve erros na própria concepção e uso do material. O mercado sergipano de concreto precisa sintonizar com a evolução dos controles tecnológicos, visando ofertar um produto que atenda ao desempenho requerido.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. and ALONSO, C. - Corrosion Rate Monitoring in the Laboratory and OnSite - Construction and Building Materials, vol. 10, N. º 5, pp. 315-328, 1996 Strategic Highway Research Program - Report SHRP-S-324 - Condition Evaluation of Concrete Bridges Relative to Reinforcement Corrosion.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASTM G1-90. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. 1999.

CASTRO, S; TUNES, S. Corrosão, ameaça oculta. Revista Globo Ciência. Abril 1993.

CUNHA, A.C.Q.;HELENE,P.R.L. Despassivação das Armaduras de Concreto por Ação da Carbonatação. São Paulo, 2001. 100p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

DOTTO, J. M. R. Corrosão do aço induzida por íons cloreto – Uma análise crítica das técnicas eletroquímicas aplicadas ao sistema aço-concreto com ou sem pozolana. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2006.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (fib), Structural Concrete – Textbook on behaviour, design and performance, Bulletin 51, 2009.

Graeff, Ângela Gaio, Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.Porto Alegre-RS, 2007.

Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI). Aditivos Para Concreto: Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central. Manual 1 edição. Instituto Brasileiro de Impermeabilização, São Paulo - SP ,2018

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Área de materiais desenvolve estudos contra a corrosão. Notícias - Jornal Órbita. Jul. 2002. http://www.ipen.br/sitio?idc=896

RONCERO, J. Effect of superplasticizers on the behavior of concrete in the fresh and hardened states: implications for high performance concretes. Tese de doutorado. Universidade Politécnica de Barcelona. Barcelona, Espanha, 2000.

THE EUROPEAN FEDERATION OF SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS - EFNARC, Specification and guidelines for selfcompacting concrete, February 2002, 32p.

THE GECOR 8 CORROSION RATE METER INSTRUCTION MANUAL - SECOND EDITION. JAMES INDUSTRIES INC., JANUARY 2002.

TUTIKIAN, B. F. DAL MOLIN, Denise C. Concreto auto adensável. 1ª ed. São Paulo: PINI, 2008.