



ISSN: 2230-9926

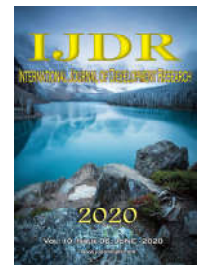
Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 10, Issue, 06, pp. 37275-37282, June, 2020

<https://doi.org/10.37118/ijdr.19138.06.2020>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

ASPECTOS DO USO CONCRETO ARMADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DO BRASIL

Andréa Sousa da Cunha Fernandes¹, Thaís Rodrigues Fortes², José Luiz Fernandes²
and Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega⁴

¹Mestre em Ciências (UFRJ), Especialista em Gestão Ambiental (UCAM) e Professora do Depto. Engenharia Civil do CEFET-RJ, ²Graduada em Engenharia Civil no CEFET-RJ, ³ Pós-Doutor em Engenharia Nuclear (UFRJ), Doutor em Engenharia Mecânica (PUC-Rio), Mestre em Engenharia de Materiais (UFRJ), Especialista em Gestão e Gerenciamento de Projetos e Professor do Depto. Engenharia de Produção do CEFET-RJ, ⁴Pós-Doutor em Engenharia Civil (UERJ), Doutor em Engenharia (PUC-Rio), Mestre em Tecnologia (CEFET-RJ), Especialista em Engenharia Ambiental (UNIG), Especialista em Saneamento (FAVENI), Especialista em Gestão Ambiental (UCAM), Especialista em Auditoria e Perícia Ambiental (Faculdade Única), Especialista em Engenharia Elétrica (UCAM) e Professor do Centro Universitário Gama e Souza (UNIGAMA), do CEFET-RJ e da Universidade Santa Úrsula

ARTICLE INFO

Article History:

Received 27th March, 2020

Received in revised form

26th April, 2020

Accepted 14th May, 2020

Published online 30th June, 2020

Key words:

Concreto armado. Aditivos de concreto.
Durabilidade de concreto.

*Corresponding author:

Andréa Sousa da Cunha Fernandes

ABSTRACT

A técnica de utilização do concreto armado vem se mostrando dominante na construção civil brasileira, tendo em vista motivos econômicos e culturais. No passar dos anos, muitas estruturas apresentam problemas de durabilidade, o que acarreta em alto custo com manutenção e reforço estrutural. Um dos principais agentes para a degradação da estrutura é a corrosão da armadura. Neste caso é importante que o concreto dificulte ou impeça a penetração de agentes agressivos até a armadura. O presente trabalho faz uma discussão da utilização de materiais específicos na composição do concreto, de forma a alterar a estrutura interna e consequentemente as condições de permeabilidade do mesmo, evidenciando a relevância das adições minerais para o atendimento da vida útil e durabilidade, que se pretende nas estruturas de concreto armado. A metodologia utilizada permitiu avaliar as propriedades de resistência à compressão, módulo de elasticidade, porosidade e permeabilidade do concreto, comparando o desempenho de um traço referência a outros dois aditivos para concreto utilizando a Sílica Ativa e o Metacaulim. Os resultados mostraram que estas adições trouxeram melhorias significativas ao concreto, proporcionando a obtenção de um material menos permeável e consequentemente mais durável, evidenciando a eficiência das adições minerais para a produção de concreto submetido à agressividade do meio.

Copyright © 2020, Andréa Sousa da Cunha Fernandes et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

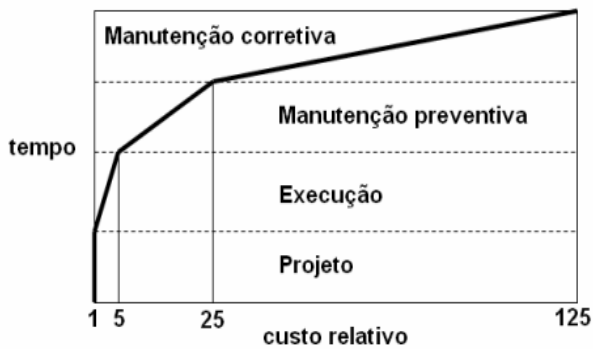
Citation: Andréa Sousa da Cunha Fernandes, Thaís Rodrigues Fortes, José Luiz Fernandes and Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega "A Method for Ontology Modeling based on Instances Conceptual Classification and Formalization", *International Journal of Development Research*, 10, 06, 37275-37282.

INTRODUCTION

O concreto foi desenvolvido em meados do século XIX e os primeiros edifícios em concreto armado foram construídos há pouco mais de um século. Desde então o concreto vem sendo a base do desenvolvimento das nações, viabilizando a construção de moradias e grandes obras de infraestrutura. (SERRA, 1997). Ao longo dos anos verificou-se a necessidade da realização de reformas e reforços em estruturas de concreto, além de situações mais críticas, como demolição e reconstrução da estrutura, evidenciando a necessidade do desenvolvimento de um material mais durável e mais resistente estruturalmente às agressões do meio.

Alguns trabalhos citam a importância econômica da durabilidade do concreto, a partir de dados que demonstram grandes gastos empregados na manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos (UEDA & TAKEWAKA, 2007 *apud* HELENE, MEDEIROS e ANDRADE, 2011). A Figura 1 apresenta a evolução dos custos empregados em eventuais intervenções realizadas em uma construção, evidenciando um aumento no custo com o tempo, quanto mais tardia a intervenção, maior evolução do custo, que pode ser representado por uma progressão geométrica de razão cinco (SITTER, 1984 *apud* HELENE, 1993). Devido às exigências do mercado e ao consequente desenvolvimento de componentes, verifica-se um grande avanço na durabilidade do concreto, que permite atingir às especificações sem comprometer as

propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido.



Fonte: Helene (1993).

Figura 1. Evolução dos custos pela fase da intervenção (Regra de Sitter)

Tabela 1. Vida útil de projeto (VUP)

Sistema	VUP mínima em anos
Estruturas	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidro sanitário	≥ 20

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-1:2013

Os aditivos químicos, principalmente os super-plasticantes, e as adições minerais - Metacaulim, Silica Ativa e Cinza de casca de arroz, são os responsáveis por essa evolução nos últimos anos (HELENE, TUTIKIAN e ISAIA, 2011).

Desenvolvimento: A necessidade de se estudar materiais que agregassem ao concreto alta resistência e durabilidade, veio da demanda de superar as limitações do concreto, no que diz respeito ao precoce envelhecimento das estruturas, decorrente de infiltrações de água nos capilares, entre outras patologias e uma consequente corrosão das armaduras, provenientes da alta porosidade do concreto convencional (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Um dos países precursores do concreto de alto desempenho (CAD) foi a Noruega, no ano de 1950 e a utilização no Brasil ocorreu nos anos 2000, no início era conhecido como concreto de alta resistência (CAR), devido a sua alta resistência à compressão. Durante muito tempo essa característica se sobrepôs a outras, como a compacidade e a durabilidade, até que a definição de concreto de alto desempenho, o CAD, se tornou um consenso no meio técnico (HELENE, 2003). Segundo Helene (2003), finalidades não usuais alcançadas com concreto, assim como resistência acima do normal, são de alto desempenho. Tendo em vista o crescimento progressivo da utilização do concreto em todo o mundo, e sendo esse o material mais consumido em todo o planeta, torna-se imprescindível a evolução e o aprimoramento dos estudos e técnicas, voltados para desenvolvimento do concreto de alto desempenho, viabilizando o atendimento de demandas cada vez mais ousadas da construção civil (HELENE, 1993). A durabilidade do concreto convencional tornou-se um assunto de preocupação em diversos países, visto que um grande número de estruturas de concreto apresentam graves sinais de deterioração. Nos últimos anos o assunto durabilidade vem sendo bastante abordado por estudiosos da área, que buscam a mudança dessa realidade para as estruturas

de concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014). A Durabilidade é a capacidade que um sistema ou edificação tem de manter corretamente o desempenho de suas funções, ao passar do tempo, sendo esse iniciado com o uso e finalizado quando o desempenho deixa de atender aos requisitos do usuário, mesmo submetido às condições de uso e de manutenção, pré-definidos pela Norma brasileira (NBR 15.575-1:2013). Os CAD vêm justamente suprir essa necessidade de estruturas duráveis, que não atendam apenas às necessidades presentes, mas estruturas que resistam com segurança às solicitações combinadas, com desempenho de serviço acima do mínimo (TUTIKIAN, 2011).

A NBR 15575-1:2013 define vida útil (VU) como o período de tempo que uma estrutura que fora projetada e construída tenha seu desempenho efetivo, tendo essas acompanhamento e manutenção preventiva, de acordo com o manual de uso. Vida útil de projeto (VUP) trata-se de uma estimativa justificada da vida útil, calculada de acordo com valores teóricos preestabelecidos de vida útil de projeto, e consta no projeto estrutural. A idade teórica para a vida útil de projeto deve ser especificada para todos os sistemas que o compõe e os valores não podem ser inferiores aos apresentados na Tabela 1. Os projetos devem ser elaborados para que sua durabilidade seja compatível a VUP pré-estabelecida (NBR 15575-1:2013). O concreto armado surgiu na segunda metade do século XIX, trazendo consigo facilidade na obtenção dos materiais constituintes, agilidade na execução e baixo custo quando comparado a outras formas construtivas, vindo ao encontro do novo modo de pensar e agir, no sentido de construir-se mais rápido e a custos competitivos. A incorporação do aço às estruturas de concreto acarretou em consequências, pela sua inerente suscetibilidade à corrosão. Este comportamento natural do aço acrescido da ação de outros agentes agressivos, externos ou internos ao próprio concreto, acarretou em muitos problemas de degradação prematura e de alta relevância para as construções. Assim, a durabilidade ou o tempo em que as pessoas ou a sociedade pudessem usufruir de uma construção em boas condições de segurança, tornou-se tema crítico (ISAIA, 2005). O Quadro 1 apresenta alguns fatores que influenciam no desempenho e durabilidade do concreto.

Concreto De Alto Desempenho (Cad): Segundo Aïtcin (2000) o concreto de alto desempenho é essencialmente um concreto com relação água/aglomerante baixa, cerca de 0,40, esse é o valor sugerido como fronteira entre concretos usuais e concretos de alto desempenho. O valor de 0,40, se aproxima ao teórico, sugerido por Powers (1968), para assegurar a completa hidratação do cimento Portland. O termo concreto de alto desempenho foi usado pela primeira vez por Mehta e Aïtcin (1990) para concretos com três características básicas: alta trabalhabilidade, alta resistência mecânica e alta durabilidade. Assim, a durabilidade foi a primeira distinção entre concreto de alta resistência e de alto desempenho. Nos últimos dez anos, diversos autores apresentaram outras definições para concretos de alto desempenho, entretanto, é unânime a importância do desempenho das propriedades relacionadas à durabilidade desse material. O edifício E-Tower inaugurado em São Paulo no ano de 2005, fez uso do CAD para a concretagem de cinco pilares, os mais solicitados da estrutura. O prédio tem altura de 162 metros, e é o terceiro mais alto de São Paulo. O edifício conta com 800 vagas de garagem, heliponto, 15 elevadores, 2 esteiras rolantes, além de uma piscina semiolímpica, no 37º andar, totalizando 52.000m² de área construída.

Quadro 1. Fatores de degradação e efeitos sobre o desempenho do concreto armado

	Fatores de degradação	Processo	Degradação
Mecânicos	Carregamento estático	Deformação	Deflexão, fissuração, ruptura
	Carregamento cíclico	Fadiga, deformação	Deflexão, fissuração, ruptura
Biológicos	Carregamento por impacto	Fadiga	Vibração, deflexão, fissuração, ruptura
	Microorganismo Bactéria	Produção de ácido Produção de ácido	Lixiviação Lixiviação
Químicos	Água Pura	Lixiviação	Desagregação do concreto
	Ácidos	Lixiviação	Desagregação do concreto
	Ácidos e gases	Neutralização	Despassivação do aço
	Dióxido de carbono	Carbonatação	Despassivação do aço
	Cloretos	Penetração, destruição de camada de passivação	Despassivação do aço
	Despassivação do aço + H ₂ O + O ₂	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência
	Tensão + cloretos	Corrosão do aço	Ruptura dos tendões de pré-esforço
	Sulfatos	Pressão dos cristais	Desagregação do concreto
	Agregado (sílica) + alcalis	Reação da sílica	Expansão, desagregação
	Agregado (carbonato) + alcalis	Reação do carbonato	Expansão, desagregação
Físicos	Variação de temperatura	Expansão/ Contração	Deformação restringida
	Variação de umidade	Retração e expansão	Deformação restringida
	Baixa temperatura + água	Formação de gelo	Destacamento do concreto
	Sal descongelante + geada	Transferência de calor	Destacamento do concreto
Eletromagnéticos	Gelo (mar)	Abrasão	Destacamento, fissuração
	Trânsito	Abrasão	Desgaste e ruptura
	Água corrente	Erosão	Danos superficiais
	Água turbulenta	Cavitação	Cavidades
	Eletricidade	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência
	Magnetismo	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência

Fonte: Adaptado de Ferreira (2000).

Tabela 2. Principais compostos do clínquer

Composto	Fórmula química clássica	Abrev.	% no clínquer
Silicato Tricálcico	3CaO·SiO ₂	C ₃ S	45-60
Silicato Dicálcico	2CaO·SiO ₂	C ₂ S	15-30
Aluminato Tricálcico	3CaO·Al ₂ O ₃	C ₃ A	6-12
Ferroatluminato tetracálcico	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	6-10
Cal Livre	CaO	C	0,5-1,0

Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

Quadro 2. Principais compostos do clínquer e suas características

Composto	3CaO·SiO ₂	β2CaO·SiO ₂	3CaO·Al ₂ O ₃	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃
Fórmula abreviada	C ₃ S	βC ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Formas cristalinas comuns	Monoclínica	Monoclínica	Cúbica, Ortorrômbica	Ortorrômbica
Velocidade de reação com a água	Rápida	Lenta	Rápida	Moderada
Contribuição para a resistência nas primeiras idades	Boa	Pequena	Boa	Boa
Contribuição para a resistência nas últimas idades	Boa	Excelente	Média	Média

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).

Quadro 3. Classificação das adições minerais para concreto

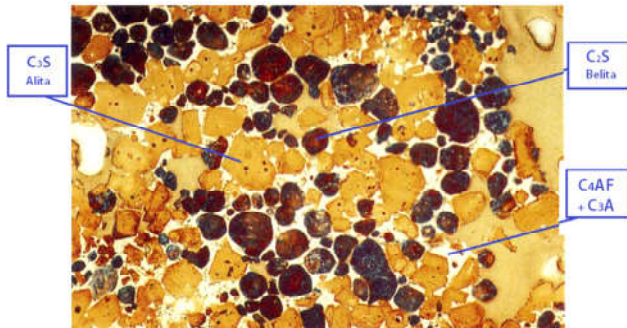
Classificação	Material
Cimentantes	Escória granulada de alto forno
Cimentantes e pozolânicas	Cinzas volantes com alto teor de cálcio
Pozolanas altamente reativas	Sílica ativa condensada
Pozolanas pouco reativas	Cinza de casca de arroz
	Escória de alto forno resfriada lentamente
	Escória de caldeira
	Palha de arroz queimada em campo

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).

A utilização do CAD viabilizou a redução da quantidade e dimensões de alguns pilares, trazendo consigo ganho de área útil e produtividade na obra (SILVA, 2003). As vantagens decorrentes da utilização do CAD nesse empreendimento ultrapassam a obtenção de elevada resistência mecânica, mas também agrega a estrutura durabilidade e vida útil superior a 500 anos (HARTMANN, 2002). O IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto) define CAD em função da resistência

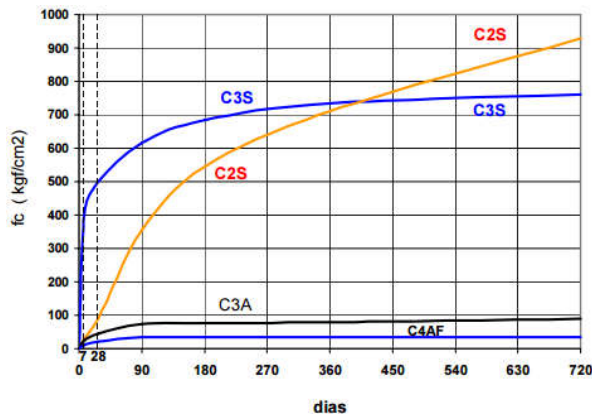
à compressão que, de acordo com as Normas NBR 6118:2014 e NBR 8953:2011, é o concreto com resistência superior a 50 MPa, pertencente ao grupo de resistência II. Com a evolução dos estudos em concretos, e a utilização do CAD, tornou-se possível a obtenção de estruturas mais duráveis, fundamentado na diminuição da porosidade do concreto. A diminuição do fator a/c, e da quantidade total de água/m³, viabilizado pela utilização de aditivos plastificantes e/ou superplastificantes,

assim como, a otimização da granulometria dos agregados, buscando maior compactidade e os reforços das ligações químicas entre partículas, através do uso de adições minerais, resultam em estruturas com poros de menor tamanho, diminuição da interconexão entre os poros e maior oposição a passagem de fluidos, agregando ao material aumento da resistência mecânica, compactidade, durabilidade e melhorias no desempenho (TUTIKIAN e HELENE, 2011).



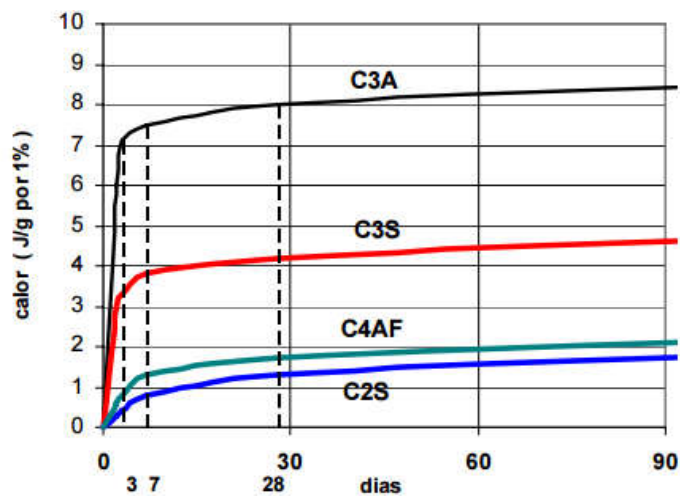
Fonte: Adaptado de Hewlett (2004).

Figura 2. Micrografia ótica, luz refletida, do clínquer de cimento Portland não hidratado



Fonte: Bogue (1955) apud Thomaz (2010).

Figura 3. Resistência dos componentes C₃S, C₂S, C₄AF e C₃A

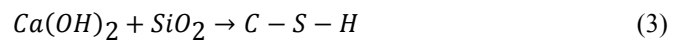
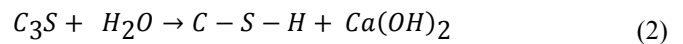
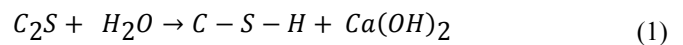


Fonte: Glasser (2005) apud Thomaz (2010)

Figura 4. Calor de hidratação dos componentes (J/g por 1% dos 4 componentes minerais)

A zona de transição (ZT) compreende a área da interface pasta-agregado, e é a mais frágil no concreto. Ela pode apresentar grande porosidade em função da exsudação de água em excesso, microfissuras e pode limitar a resistência

mecânica do material. A dimensão máxima característica e a natureza mineralógica dos agregados, além do fator A/C, têm grande influência na formação da ZT (TUTIKIAN e HELENE, 2011). Segundo Aïtcin (2000) a utilização de adições minerais e aditivos proporcionam ao concreto resistências superiores a 100 MPa. A utilização de adições minerais na formulação dos CAD, tais como, Sílica Ativa, Metacaulim e cinza de casca de arroz, são importantes, pois essas partículas tem relevante ação química e também física na estrutura do material (TUTIKIAN e HELENE, 2011). A portlandita, $Ca(OH)_2$, produto da hidratação do cimento, apresentada na Equação 1 e Equação 2, em reação química com a SiO_2 , presente na adição mineral, formam o Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H), conforme Equação 3, elemento resistente da pasta de cimento (TUTIKIAN e HELENE, 2011), além de reduzir a exsudação interna e superficial da mistura, conferindo a estrutura uma Zona de Transição mais compacta do que porosa, quando comparada a um concreto sem adições



Composição do concreto de alto desempenho: O concreto de alto desempenho é preparado por meio de cuidadosa seleção de cada um de seus ingredientes (AÏTCIN, 2000). A fim de garantir as características propostas pelo concreto de alto desempenho a ser desenvolvido, é necessário haver efetivo controle quanto aos materiais empregados no traço, visto que, com pequenos erros as características podem mudar e a mistura pode não mais atender a demanda. O desempenho e a qualidade de cada elemento empregado, tornam-se cruciais, na medida em que a resistência almejada aumenta, mas existem alguns itens que são mais críticos que outros (AÏTCIN, 2000).

Para a obtenção de um concreto resistente, é essencial a seleção adequada de todos os materiais constituintes da mistura, a fim de que o produto final seja durável e que tenha a trabalhabilidade necessária para o assentamento de acordo com o projeto (HELENE, TUTIKIAN e ISAIA, 2011).

Cimento Portland: As matérias primas utilizadas na fabricação do cimento Portland são basicamente o calcário, sílica, alumina e o óxido de ferro (NEVILLE, 2013). A NBR 5732:1991, define cimento Portland como: Aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ ou materiais carbonáticos, nos teores especificados. As matérias-primas do clínquer são o calcário e a argila, ambos obtidos de jazidas geralmente próximas as fábricas de cimento. A rocha calcária é britada, e em seguida misturada com a argila (BATTAGIN, 2012). Essa mistura finamente moída e homogeneizada de calcário e argila em proporções de 80% e 20%, respectivamente, são calcinadas a uma temperatura de 1450°C para formação de silicatos de cálcio, aluminatos e ferroaluminato tetracálcico. Após a passagem pelo forno rotativo, com temperatura de 1450°C, o calor intenso transforma a mistura em um novo material, denominado clínquer. Na saída do forno o clínquer ainda incandescente é resfriado e depois moído, transformando-se em pó (BATTAGIN, 2012). Na Tabela 2 são apresentados os principais compostos do clínquer. A Figura 2 apresenta a

micrografia ótica (luz refletida), do clínquer não hidratado, evidenciando o formato dos compostos e também suas proporções, já apresentadas na Tabela 2. Os cristais que apresentam contorno hexagonal e coloração castanha são Alitas (C_3S), os cristais marrons, escuros e arredondados, são Belita (C_2S). A massa entre os grãos de C_3S e C_2S é composta de C_4AF e de C_3A . A imagem foi ampliada 500 vezes (HEWLETT, 2004). O clínquer Portland tem uma característica de desenvolver reação química quando misturado à água, primeiramente torna-se pastoso e, em seguida, endurece adquirindo resistência. O enrijecimento se dá pela perda de consistência plástica da pasta, isto é, de forma gradual a água livre do sistema é perdida, como resultado da formação de produtos de hidratação, como etringita e C-S-H. O C_3S contribui na resistência para as primeiras idades e também na resistência final, já o silicato dicálcico (C_2S) contribui apenas na resistência final e o aluminato tricálcico (C_3A), que tem reação imediata com a água, tem influência na resistência inicial (MEHTA e MONTEIRO, 2014). A quantidade de C_3A presente na maioria dos cimentos e bem pequena, mas o comportamento do composto na sua forma hidratada forma um material prismático intersticial. A reação do C_3A puro com água é muito violenta, resultando no enrijecimento imediato da pasta, conhecido como pega instantânea. Para evitar que isso aconteça, adiciona-se gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ao clínquer do cimento (NEVILLE, 2013). O quadro 2 apresenta os principais compostos do clínquer e suas principais características. A figura 3 ilustra a resistência dos componentes C_3S , C_2S , C_4AF e C_3A segundo BOGUE (1955).

Os cimentos atuais possuem alto teor de C_3S e C_3A , o que lhes garante alta resistência inicial. Esses componentes liberam calor muito rápido, isto é, quanto maior o percentual de C_3S e C_3A , maior o calor de hidratação da mistura, maior o aquecimento do concreto, e ao esfriar rapidamente, acarreta em fissuras, comprometendo a durabilidade da estrutura. A figura 4 ilustra o calor de hidratação dos componentes (J/g por 1% dos 4 componentes minerais) segundo GLASSER (2005). A escolha do tipo certo de cimento é crucial para a obtenção de um concreto que atenda às características solicitadas, dependendo da quantidade de cada componente na mistura, o cimento se comporta de maneira diferente (THOMAZ, 2010). Além dos compostos principais do cimento Portland, listados na Tabela 2, existem compostos secundários como o óxido de magnésio (MgO), dióxido de titânio (TiO_2), dióxido de manganês (MnO_2), óxido de potássio (K_2O) e óxido de sódio (Na_2O). Esses compostos tem pequena porcentagem na massa de cimento. O óxido de potássio (K_2O) e o óxido de sódio (Na_2O) têm particular relevância, eles são conhecidos como os álcalis, visto que eles reagem com alguns agregados, de modo que o produto dessa reação provoca a desintegração do concreto e também influenciam na velocidade de aumento de resistência do cimento (NEVILLE, 1985). Segundo Neville (1985), visto que os compostos (C_3A) e (C_4AF), pouco contribuem para a resistência final da pasta, a presença desses compostos em elevadas quantidades não é indicado para o cimento a ser utilizado na produção do CAD, dessa forma aumenta-se as quantidades dos silicatos (C_3S) e (C_2S) que são os responsáveis pelas resistências finais das misturas.

Água: A água introduzida no concreto tem duas funções, uma parte contempla a água de amassamento, que contribui para garantir uma trabalhabilidade adequada ao concreto. A outra parte possibilita o desenvolvimento das reações químicas, tanto de hidratação do cimento Portland, quanto em reações

Pozolânicas com os aditivos minerais e/ou constituintes do cimento empregado.

Aditivos: O cimento Portland começou a ser aditivado com cloreto de cálcio (gesso cru) a partir de 1873, esse é um agente responsável pelo controle da pega do material. Substâncias tenso ativas, como certos tipos de graxas, começaram a ser utilizadas no final do século XIX e, a partir de 1910, iniciou-se a produção industrial de aditivos impermeabilizantes, plastificantes, retardadores e aceleradores. O açúcar começou a ser utilizado em 1909 para retardar a pega do concreto, através do retardo da dissolução dos ânions e cátions do cimento. A evolução da química para a construção nos oferta hoje, grande variedade de aditivos e viabilizam variáveis aplicações, agregando propriedades superiores as obtidas apenas com o emprego do cimento Portland, promovendo grande avanço na construção civil (ABDUCHE, 2010). Segundo a definição da Norma NBR 11.768:2011, aditivos são produtos adicionados durante o processo de preparação do concreto, com proporções não maiores a 5% da massa de material cimentício da mistura, modificando as propriedades em seu estado fresco e/ou no estado endurecido, com exceção de pigmentos inorgânicos para preparo de concreto colorido. Os aditivos são classificados de acordo com NBR 11.768:2011 como:

- Aditivo redutor de água/ plastificante;
- Aditivo de alta redução de água/ superplastificante tipo I;
- Aditivo de alta redução de água/ superplastificante tipo II;
- Aditivo incorporador de ar;
- Aditivos aceleradores de pega;
- Aditivo acelerador de resistência; e
- Aditivo retardador de pega.

O ACI Committee 212 (2005) *apud* Mehta e Monteiro (2014), lista 20 finalidades para as quais os aditivos são empregados no concreto, como por exemplo:

- Aumentar a plasticidade do concreto sem aumentar o consumo de água;
- Reduzir a exsudação e segregação;
- Retardar ou acelerar o tempo de pega;
- Acelerar as taxas de desenvolvimento das resistências nas primeiras idades;
- Reduzir a taxa de evolução do aquecimento e aumentar a durabilidade do concreto em condições específicas de exposição.

Segundo Martin (2005) as modificações agregadas ao concreto com uso de aditivos, dependem também da composição dos materiais constituintes do concreto. Os redutores de água, por exemplo, tem seu desempenho influenciado pelo teor de C_3A do cimento, quanto maior o percentual de aluminato tricálcico, menor o efeito químico no concreto. Em resumo, a eficácia do aditivo depende principalmente de sua dosagem, do tipo de cimento, da composição do clínquer, em especial quantidade de C_3A e C_3S , das adições e da finura.

Superplastificantes: Os superplastificantes são conhecidos como redutores de água de alta eficiência, visto que são capazes de reduzir de 3 a 4 vezes o consumo de água de amassamento em uma mistura, quando comparado aos redutores de água normais. Proporcionado pelo avanço da indústria química, a utilização de superplastificantes é considerado um dos mais importantes avanços no estudo de

materiais cimentícios, agregando a esses adequada fluidez, alta resistência e durabilidade (MALHOTRA, 1997). Os aditivos superplastificantes podem ser divididos em três grupos, primeira geração (lignosulfonatos), segunda geração (ácidos hidro-carboxílicos) e terceira geração (policarboxilatos) (AÏTCIN, 2000). Os superplastificantes de terceira geração são os mais indicados para a produção do CAD (HARTMANN, 2002). Deve ser avaliada na escolha do aditivo, a compatibilidade com o cimento, o tempo de ação e a trabalhabilidade do concreto para os materiais utilizados. O ensaio mais utilizado para verificar a compatibilidade entre o cimento e o aditivo é a determinação do tempo de fluxo da pasta de cimento, que passa no cone de marsh, que analisa para um dado tipo de cimento, o ponto de saturação do aditivo empregado (helene, tutikian, isaia, 2011). a composição química dos superplastificantes é composta por surfactantes aniônicos de cadeia longa, alta massa molecular (20.000 a 30.000) com um grande número de grupos polares na cadeia de hidrocarbonetos (mehta e monteiro, 2014). as longas moléculas formadas se adsorvem sobre as partículas de cimento e que, devido a fenômenos físico-químicos, como a força de van der waals, promovem a dispersão (uckikawa, hanehara e sawaki, 1997). as partículas de cimento com cargas opostas, que tem tendência a se atraírem, podem se repelir, resultando em reações mais rápidas ou mais lentas, interferindo no início e fim de pega do concreto. O ponto ótimo do aditivo é alcançado na condição onde houver maior redução de água de amassamento e maior ganho de resistências mecânicas na idade desejada. Outros aspectos devem ser observados, como propriedades básicas do concreto fresco e endurecido (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

- Viscosidade;
- Coesão;
- Incorporação de ar;
- Tempos de início e fim de pega;
- Segregação;
- Exsudação.

Adições minerais: Altos consumos de cimento podem propiciar características indesejáveis à estrutura devido ao alto calor de hidratação e a excessiva retração, ambos conduzem ao surgimento de fissuras. A técnica mais interessante para amenizar possíveis patologias é a substituição de parte do cimento por adições minerais, como a sílica ativa, o Metacaulim e o filer calcário (ACI 363R-92,2001). As adições minerais são classificadas de acordo com o Quadro 3. Além de prover benefício ao concreto, a substituição parcial do cimento Portland por adições minerais, quando disponíveis a preços competitivos, pode ser vantajosa, também do ponto de vista econômico (AÏTCIN, 2000). Segundo Mehta e Monteiro (2014) as adições minerais são de elevada importância para a produção dos CADs por possibilitar melhorias nas suas características técnicas, alcançando benefícios ao concreto em seu estado fresco e endurecido, tais como:

- Aumento da coesão e diminuição da segregação e exsudação;
- Aumento da resistência à compressão, tração e abrasão;
- Redução da retração e porosidade, minimizando a permeabilidade;
- Melhora na resistência às reações álcali-agregado.

Segundo Neville (2016) a adição mineral agrega ao concreto uma melhora na sua trabalhabilidade que é explicada pela inclusão de um material mais fino, que contribui, também para sua resistência inicial, (em média até os sete dias) decorrente de um empacotamento dos grãos, melhorando a interface pasta agregado, permitindo uma melhor participação dos agregados na transferência de tensões.

Sílica Ativa: De acordo com a NBR 13.956-1:2012, a sílica ativa é um material decorrente da produção de silício metálico ou ligas de ferro-silício 75% em fornos elétricos, onde durante o processo, é gerado o gás SiO que ao sair do forno, oxida-se formando partículas de SiO₂, que através de um sistema de filtros coletores é captada, como ação de responsabilidade ambiental. A sílica ativa é uma pozolana de alta reatividade constituída essencialmente por partículas esféricas com diâmetro inferior a 10-6m de sílica no estado amorfo. A primeira menção conhecida acerca da utilização da sílica ativa em concreto ou argamassa está em uma patente nos Estados Unidos de 1946. A principal utilização do material no estudo foi em função de melhorias nas propriedades da argamassa em seu estado fresco. Na Noruega houve o primeiro relato da utilização da Sílica Ativa em 1947 e, somente em 1952, foi publicado o primeiro artigo abordando as propriedades do material e seu uso, por Bernhardt (FIDJESTØL, 2005).

Os benefícios conferidos ao concreto com presença de adição da sílica ativa segundo Aïtcin (2000) são:

- Aumento da resistência à compressão e à flexão;
- Redução da porosidade e permeabilidade;
- Aumento da resistência à sulfatos;
- Resistência à difusibilidade de ions cloreto;
- Mitigação da reação álcali-agregado;
- Redução da ocorrência de eflorescências;
- Aumento da resistividade elétrica;
- Concreto com menor consumo de energia e emissão de CO₂;
- Diminui a exsudação; e
- Melhor desempenho a abrasão e erosão.

A sílica reduz drasticamente a exsudação tanto interna quanto externa da mistura. A redução da exsudação é muito importante do ponto de vista microestrutural da zona de transição da pasta com os agregados e também, entre a pasta e a armadura. A estrutura das zonas de transição se torna mais compacta quando há a utilização da sílica e menos porosa, que se dá quando não há esse tipo de adição ao concreto (AÏTCIN, 2000).

Metacaulim: O Metacaulim é um produto derivado da calcinação criteriosa de argilas caulínicas e é constituído principalmente por compostos à base de sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) na fase amorfa (vítrea), proporcionando alta reatividade com o hidróxido de cálcio presente no concreto. A adição de Metacaulim é recomendada em diversas aplicações na indústria de refratários, cerâmica, siderúrgica, química e outras.

Agregados: Pelo menos três quartos do volume do concreto são compostos pelos agregados, dessa forma podemos entender que sua qualidade tem considerável importância. O agregado influencia na resistência do concreto e também pode influenciar na durabilidade e no seu desempenho estrutural

(NEVILLE, 1997). É necessário ter conhecimento de algumas características dos agregados para a definição das dosagens de concreto, como a massa específica, a composição granulométrica, o teor de umidade, a forma e a textura superficial, essas determinam as propriedades do concreto no seu estado fresco. Além da porosidade, a composição mineralógica do agregado afeta sua resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade, que por sua vez, influenciam no estado endurecido do concreto (Mehta e Monteiro, 2014). O agregado tem um custo inferior quando comparado ao do cimento, portanto é econômico usar no concreto mais agregado e menos cimento possível, mas a economia não é a única razão do seu emprego, o agregado confere a mistura vantagens técnicas consideráveis, garantindo ao concreto maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade quando comparado à pasta de cimento pura (Neville, 1997). A demanda de água no traço se tem menor quanto maior for o módulo de finura do agregado utilizado e assim menor superfície específica, considerando o total de materiais secos para um dado abatimento de tronco de cone (Mehta e Monteiro, 2014). O agregado deverá possuir a maior dimensão máxima possível desde que compatível com a espessura da placa e com as características da armadura (Racena, 2014).

A classificação dos agregados é dada de acordo com a dimensão das partículas, massa específica e origem. O termo agregado graúdo é utilizado para partículas maiores que 4,75 mm (retidas na peneira n°4) e agregados com partículas de dimensão inferior a 4,75 mm, são denominados agregados miúdos. Geralmente os agregados miúdos contêm partículas de tamanho que variam entre 75µm (peneira de n° 200) a 4,75 mm, enquanto nos agregados graúdo, variam entre 4,75 mm a cerca de 50 mm (MEHTA & MONTEIRO, 2014). Segundo Mehta e Aitcin (1990) agregados miúdos de origem natural são ideais para dosagem dos CADs, devido sua forma arredondada e textura suave. A melhor distribuição granulométrica tem maior função de garantir a trabalhabilidade do que o empacotamento físico. O módulo de finura ideal é em torno de 3,0, portanto, areias mais grossas, que proporcionam uma pequena redução na quantidade de água na mistura. Nas dosagens de CADs deve se evitar a utilização de materiais com alto teor de finos, pois por conterem alto teor de cimento e adições como Sílica Ativa, esses já preenchem as necessidades de finos (AITCIN, 2000). Segundo Aitcin (2000) os agregados utilizados em concretos de alto desempenho, devem ser avaliados quanto a sua mineralogia e petrografia, assegurando-se de que esses tenham resistência suficiente para evitar precoce ruptura no concreto.

Empacotamento dos grãos: A distribuição granulométrica dos materiais aglomerantes e agregados tem grande influência no desempenho de concretos e é conhecida na construção civil desde o início do século passado. Muitos modelos consideravam os materiais como monodispersos ou caracterizavam cada material por um só diâmetro, o diâmetro médio das partículas, sem considerar toda a distribuição granulométrica da composição. Alguns dos primeiros estudos de empacotamento de esferas de diferentes tamanhos foram publicados nas décadas de 20 e 30 por Furnas em 1929 e por Westmann e Hugill em 1930. Concretos obtidos a partir da engenharia de microestrutura são necessários. Por serem compósitos constituídos de partículas com granulometria fina (tamanho máximo $\leq 4750 \mu\text{m}$) e uma baixa relação água/cimento, esses concretos apresentam matrizes densas

obtidas a partir da otimização do empacotamento dos materiais granulares, enquanto a trabalhabilidade adequada é obtida com a dispersão das partículas promovida pela incorporação de aditivos químicos à mistura. Além disso, utilizam adições minerais que são, na grande maioria, subprodutos industriais, resultando em um grande benefício ambiental: reciclagem de resíduos industriais, redução de emissões poluidoras durante a produção do cimento, preservação de matérias-primas e economia de energia. (Castro E Pandofelli, 2009)

Conclusão

Este artigo faz uma discussão da utilização de materiais específicos na composição do concreto, de forma a alterar a estrutura interna e conseqüentemente as condições de permeabilidade do mesmo, evidenciando a relevância das adições minerais para o atendimento da vida útil e durabilidade, que se pretende nas estruturas de concreto armado. Neste artigo verificou-se que a Sílica Ativa apresentou ganhos superiores frente ao Metacaulim, resultando na obtenção de um concreto com maior resistência e alta durabilidade, agregando ao material menor absorção, permeabilidade, sendo assim, o mais indicado para utilização nas dosagens de concretos aplicadas em regiões com alto grau de agressividade, como as industriais e submetidas a respingos de maré.

REFERÊNCIAS

- American Concrete Institute. 2001. ACI 363R-92 (Reapproved 1997) State-of-the-art report on highstrength concrete. ACI Manual of Concrete Practice 2001. ACI, Detroit (USA), 55 p.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT. 1991. NBR 5732 Cimento Portland Comum - Especificação. Rio de Janeiro,
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. 2014. NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. 1992. NBR 8953: Concretos para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 11.768, Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos, 2011.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 13956-1: Sílica Ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta – Parte 1: Requisitos, 2012.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. 2013. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais, Rio de Janeiro.
- Abduche A. C. C. 2010. Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e Polifuncionais em concretos de cimento Portland tipo CP III 40. Dissertação de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense. Niterói.
- Aitcin, P. C. 2000. Concreto de alto desempenho. Tradução de Gerado G. Serra. São Paulo. PINI.
- Battagin, A. R. 2012. Guia básico para utilização do cimento Portland, Associação Brasileira de cimento Portland. 8 ed. São Paulo. ABCP.
- Castro, A. L. e Pandofelli, V. C. 2009. Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil, Cerâmica, 85, p18-32,

- Ferreira, R. M. Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.
- Fidjestøl, P. F. Silica Fume In Marine Concrete, IV International ACI/ CANMET Conference on Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda, 2005.
- Hartmann C. T. Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland. Dissertação (Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 2002.
- Helene, P.R.L. Contribuição ao estudo de concreto armado. 1ª Ed. São Paulo, Tese (Livre Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.
- Helene, P. R. L. Concretos de Alta Resistência. Revista Técnica. São Paulo: Ed. Pini n.81, dezembro de 2003.
- Helene, P. R. L.; Medeiros, M. H. F.; Andrade, J. J. O. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto, IBRACON, 2011.
- Helene P. R. L.; Tutikian B. F.; Isaia G. C. Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. Capítulo 36. IBRACON, 2011.
- Hewlett P. C. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4th Ed. Elsevier Science & Technology Books, 2004.
- Isaia, C. G. Questões de ensino e pesquisa na durabilidade das estruturas do concreto. E-Mat Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, Florianópolis, 2005.
- Martin J. F. M. Concreto, ensino, pesquisa e realizações. Aditivos para Concreto. Capítulo 13. IBRACON, São Paulo, 2005.
- Malhotra, V. M. Innovative applications of superplasticizers in concrete – A review proceeding of Mario Colepari symposium on advances in concrete science and technology, 1997.
- MEHTA, P. K.; AITCIN, P.C. Principles underlying the production of high-performance concrete. Cement, Concrete and Aggregates, 1990.
- Mehta P. K.; Monteiro P.J.M. Concreto – microestrutura, propriedade e materiais. São Paulo 4ª Ed. Editora Ibracon, 2014.
- Neville, A. M.; Brooks J. J. Tecnologia do Concreto. Porto Alegre 2ª Ed. Editora Bookman, 2013.
- Neville, A. M. Properties of Concrete, Addison Wesley, 1985
- Powers, T. C. The Properties of Fresh Concrete, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1968.
- Racena, F. P. Retração do Concreto, Porto Alegre: Edipucrs, 2014
- Serra, G. G. Concreto de Alto Desempenho e a Nova Arquitetura, ABCP, 1997.
- Silva, A. L. Concreto de alto desempenho – CAD. Estudo de caso: Edifício E-Tower. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2003
- Tutikian B. F.; Helene P.; Isaia G. C.; Concreto de alto e ultra-alto Desempenho, Ed. Ibracon. São Paulo, 2011.
- Tutikian, B. F. e Helene, P., Dosagem dos concretos de Cimentos Portland, Capítulo 12, Concreto: Ciência e Tecnologia, IBRACON, 2011.
- Thomaz E. C. S. Joseph Monier o inventor do concreto armado, 2010. Disponível em: <<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/monier.pdf>> Acesso em: 18/12/2016.
- Uckikawa H.; Hanehara S.; Sawaki D. The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh paste prepared with organic admixtures. Cement and concrete research, 1997.
