

## ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - COMPARATIVO DE CUSTOS

Tatiana Pereira Jucá (1), Fernando Alves Teixeira (1), Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira (1), Keila Regina Bento de Oliveira (1), Adriana de Moraes Sena (1), Leonardo Eustáquio Guimarães (1), Glydson Ribeiro Antonelli (1) Flávio Mamede Gomes (2), André Geyer (3),

(1) Alunos do curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG)

email: [trpjuca@bol.com.br](mailto:trpjuca@bol.com.br)

(2) Engenheiro do Centro Tecnológico de FURNAS

(3) Professor Mestre, Departamento de Construção Civil  
Escola de Engenharia Civil / Universidade Federal de Goiás

email: [geyer@persogo.com.br](mailto:geyer@persogo.com.br)

Universidade Federal de Goiás - Curso de Mestrado em Engenharia Civil - Praça Universitária s/n.  
CEP 74605-22-, Goiânia - Goiás - Brasil, Fax: (62) 202 - 0875

### RESUMO

O concreto de alto desempenho cada vez mais tem sido procurado no mercado da construção civil. Esta procura se explica pelos inúmeros benefícios que este material pode proporcionar.

Sabe-se que muitos são os trabalhos realizados à fim de esgotar as dúvidas sobre o teor ótimo de aditivo, relação água/cimento, consumo de cimento e agregados que proporcionarão trabalhabilidade adequada ao concreto fresco e excelentes propriedades ao concreto endurecido. No Brasil ainda são poucas as aplicações práticas do CAD e os métodos de dosagens ainda não são plenamente dominados. O objetivo principal desta pesquisa é a realização de quatro traços de CAD através do método desenvolvido por Mehta & Aïtcin, elaborados com dois tipos de cimento diferentes, com e sem adição de sílica ativa para que fosse possível a realização de um comparativo de custos no que tange resistência à compressão, com diferentes cimentos e adições disponíveis na região centro-oeste.

Palavras-chave: Concreto de alto desempenho, dosagem, durabilidade, custos.

### 1. INTRODUÇÃO

Até a década de 80, o principal critério para avaliação de um concreto, que se presumia-se de bom desempenho era a resistência à compressão MEHTA & AITCIN (1999). Em virtude das inúmeras manifestações patológicas que vêm ocorrendo nas construções civis atuais, houve necessidade de uma revisão profunda nos conceitos de durabilidade e desempenho dos materiais usados nestas construções. Hoje em dia, sabe-se se desempenho e durabilidade são fatores básicos para que se possa afirmar que um material tem ou não qualidade. Esses fatores são ligados entre si, pois pode-se dizer que o desempenho do material significa seu comportamento em uso e durabilidade de um material diz respeito à conservação do desempenho deste ao longo de sua vida útil.

Geralmente associa-se concreto de alto desempenho (CAD) a concreto de alta resistência. Porém, isto não se aplica a todos os casos. O concreto de alto desempenho, segundo padrões normativos brasileiros, entende-se que deve ter no mínimo 50 MPa de resistência à compressão e demais propriedades exigidas pela obra, de acordo com os fins aos quais a obra se destina(NB1-em revisão). Deve-se pensar primeiramente em durabilidade e posteriormente, em alta resistência, principalmente quando a estrutura está inserida em ambientes agressivos.

É consenso dentre muitos pesquisadores de CAD que o principal fator que determina ao concreto o alto desempenho é o emprego de uma baixa relação a/c. NEVILLE (1997) afirma que a relação a/c deve ser sempre menor que 0,35, muitas vezes em torno de 0,25 e ocasionalmente até 0,20.

Importante notar que o uso de adições minerais vem se difundindo por trazer inúmeros benefícios técnicos, dos quais podem-se destacar:

- melhor reologia do concreto fresco: a presença de partículas finas, especialmente adições pozolânicas, atuam como fíler a baixa relação a/c, além de reduzirem a exsudação e a segregação;
- partículas finas e pouco reativas, quando comparadas ao cimento Portland, se bem dispersas na pasta de cimento podem provocar inúmeras zonas de

nucleação para a precipitação dos produtos de hidratação MEHTA & AİTCIN (1999);

- Menor acesso dos agentes agressivos, tais como íons cloreto ou carbonatação, à pasta de cimento endurecido devido ao tamponamento dos poros.

BAALBAKI et al.(1992) em estudo sobre as propriedades e microestrutura do CAD diz que o uso combinado de cimento menos reativo e adições minerais podem eliminar a necessidade do retardador de pega e introduzir um elemento de economia na dosagem do superplastificante. Isto é muito importante do ponto de vista custo, pois no caso do concreto convencional o cimento é quem determina o custo de 1m<sup>3</sup> de concreto, deste modo, ao se fazer o CAD o custo do superplastificante não pode ser ignorado, especialmente quando se calcula o preço final do volume de CAD, considerando-se que a dosagem do superplastificante pode ser tão alta quanto 10 a 20 l/m<sup>3</sup>.

Os métodos de dosagem para o CAD são, em sua maioria, caracterizados por baixas relações água/aglomerante, altos consumos de cimento, a presença de vários aditivos (especialmente os superplastificantes) e o uso de adições. O método de Mehta e Aİtcin possui a grande vantagem de privilegiar o uso de adições, sendo estas obrigatórias para resistências superiores à 105 MPa. Nesse caso, o custo acaba não sendo tão significativo, devido à diminuição no consumo de cimento. Quando comparado com três outros métodos para dosagem de CAD, ALVES et al. (2000), concluíram que o método de Mehta e Aİtcin possui o segundo menor consumo de cimento, o que significa uma economia de recursos naturais e em uma possível diminuição de custos.

## **2. METODOLOGIA**

Para o estudo em questão utilizou-se uma variação do método de MEHTA & AITCIN (1990), tendo como principal justificativa a facilidade de emprego deste método, como já evidenciado por outros pesquisadores, como no caso de ALVES et al. (2000). Segundo os autores do método, existe uma faixa de resistência para o seu emprego, que varia de 65 a 120 MPa, sendo estes valores relacionados ao teor máximo de água. Em se tratando do material utilizado, existem três opções, a saber:

- Cimento Portland comum(CP);
- Cimento Portland comum adicionado com Cinza Volante (CV) ou Escória de Alto-Forno (EAF) em uma relação de 75:25 em volume;
- Cimento Portland comum adicionado com CV e com SA (Sílica Ativa) em uma proporção de 75:15:10 em volume, respectivamente.

Características como o fácil desenvolvimento e execução, acabam não sendo suficientes para o emprego deste método na região de Goiás, já que os materiais teorizados não são disponíveis para os consumidores usuais, sendo apenas destinados, em alguns casos, para pesquisas e estudos mais aprofundados. Visando então, uma adequação do método, foram propostos os seguintes traços:

CP II F; CP II F + 10% S.A.; CP III; e CP III + 10% S.A.

### **3. PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO**

Através do método de dosagem para CAD desenvolvido por Mehta & Aitcin (1990) foram realizadas quatro dosagens com resistência à compressão média fixada em 65 MPa e relação água/cimento equivalente ( $a/c_{eq}$ ) de aproximadamente 0,35.

Foram moldados 6 corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm para cada traço, com o objetivo de verificar a resistência à compressão.

#### **3.1. MATERIAIS E MÉTODOS**

O método de dosagem de Mehta & Aïtcin é conhecido por seu fácil desenvolvimento e execução, sendo recomendado para resistências variando de 60 a 120 MPa, arbitrariamente divididos em cinco graus de resistências: A, B, C, D e E que equivalem a resistências médias de 65,75, 90, 105 e 120 MPa, respectivamente. Esta metodologia dita que os concretos de graus D e E não devem ser feitos sem adições minerais.

Existem algumas considerações para aplicação deste método de dosagem:

- relação pasta de cimento/agregado: fixada entre 35 a 65% por volume;
- graduação da resistência: concretos com mais de 60 MPa de resistência à compressão, geralmente, apresentam permeabilidade  $< 10^{14}$  m/s, consideradas baixas;
- teor de água: para abatimento de tranco de cone de 12 a 19 mm, o teor de água varia entre 120 e 160 Kg/m<sup>3</sup>. Porém, este teor de água pode ser calculado ou corrigido caso haja necessidade, como no caso do agregado possuir umidade;
- teor de cimento: é calculado pela diferença entre o volume de pasta de cimento (fixado em 35%) e o volume de água e ar incorporado;
- tipo de dosagem das adições minerais: de acordo com o grau de resistência pode-se verificar qual o tipo de adição utilizar, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Fração de volume dos componentes em 0,35m<sup>3</sup> de pasta de cimento

<b>Grau de resistência</b>	<b>Água</b>	<b>Ar</b>	<b>Total de material cimentício</b>	<b>Opção 1 Somente CP</b>	<b>Opção 2 CP+(CV ou EAF)</b>	<b>Opção 3 CP+(CV ou EAF)+SA</b>
<b>A</b>	0,16	0,02	0,17	0,17	0,1275+0,0425	0,1275+0,0255+0,0170
<b>B</b>	0,15	0,02	0,18	0,18	0,1350+0,0450	0,1350+0,0270+0,0180
<b>C</b>	0,14	0,02	0,19	0,19	0,1425+0,0475	0,1425+0,0285+0,0190
<b>D</b>	0,13	0,02	0,20	*	0,1500+0,0500	0,1500+0,0300+0,0200
<b>E</b>	0,12	0,02	0,21	*	0,1575+0,0525	0,1575+0,0315+0,0210

\* estes concretos não são feitos somente com cimento Portland

- relação entre agregado graúdo e agregado miúdo: a proporção ótima de agregados no CAD é de 65% por volume. É sugestão do método que no primeiro traço de ensaio seja usada a relação 2:3 entre agregado miúdo e agregado graúdo;
- dosagem do superplastificante: se não há experiência com o superplastificante a ser empregado, o método sugere que a dosagem inicial tenha 1% de superplastificante por peso de material cimentício.

Os materiais empregados no traço de CAD foram submetidos a ensaios que determinassem suas características físicas. Os cimentos usados no traço foram o CP II F - 32 de acordo com a NBR 11578/91 (Massa específica = 3,00 Kg/dm<sup>3</sup>) e o CP III - 32 de acordo com a NBR 5735/91 (Massa específica = 3,10 Kg/dm<sup>3</sup>), a adição mineral foi uma sílica ativa de massa específica de 2,20 Kg/dm<sup>3</sup> e o aditivo químico usado foi um superplastificante de pega normal com 37,2% de sólidos. Os agregados usados foram areia natural e pedra britada. Na Tabela 1 pode-se visualizar as características dos agregados.

Tabela 1 - Características físicas dos agregados.

	<b>Massa específica (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Módulo de finura</b>
<b>Areia natural</b>	2,71	2,53
<b>Brita 25 mm</b>	3,02	7,08

### 3.2. PRODUÇÃO DE CONCRETO

O concreto foi produzido por profissionais especializados do laboratório de concreto de FURNAS Centrais Elétricas. onde em cada mistura foi medido o abatimento do tronco de cone e teor de ar incorporado.

Na Tabela 2, pode-se visualizar a proporção dos materiais utilizados na produção dos concretos.

Tabela 2 – proporção dos materiais constituintes dos concretos, em peso.

<b>Traço</b>	<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Sílica</b>	<b>Aditivo</b>	<b>Água</b>
<b>01</b>	1,000	1,239	2,202	0,000	2,00%	0,305
<b>02</b>	0,897	1,797	2,763	0,073	2,25%	0,401
<b>03</b>	1,000	1,239	2,202	0,000	2,00%	0,323
<b>04</b>	0,898	1,792	2,768	0,075	2,25%	0,399

#### **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A utilização do método de dosagem de Mehta e Aïtcin para CAD evidenciou sua praticidade e facilidade de emprego. Segundo MINDESS apud ALVES et al. (2000), os métodos de dosagem para o CAD não são encontrados facilmente, e em muitos casos apresentam dificuldades de emprego. Dentre os principais problemas encontrados neste emprego pode-se ressaltar a otimização no proporcionamento dos materiais e o fato dos métodos, em sua maioria, utilizarem-se de materiais disponíveis em determinadas regiões. Essa característica ficou evidenciada, como mencionado anteriormente, e resultou em uma tentativa de adequação do método.

O Concreto de Alto Desempenho possui uma estrutura interna complexa, e o significativo aumento de variáveis em detrimento ao concreto convencional acabam justificando o reduzido número de pesquisadores que se propõe a desenvolver novos métodos. O emprego dos aditivos também se configurou como um empecilho no que se refere à uma maior adequação do método, além de

evidenciada uma sensível diferença na forma de atuar de diferentes tipos de aditivo, ficou claro que a ordem de colocação destes em relação aos materiais empregados também exerceu uma sensível diferença.

Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos (10 x 20 cm) de acordo com a NBR 5738/94, para serem rompidos a 4, 7 e 63 dias da moldagem. Estes corpos-de-prova foram capeados com enxofre antes do ensaio de resistência à compressão, de acordo com a NBR 5739/94.

Na Tabela 3 pode-se visualizar os valores de resistência à compressão, a idades especificadas, para cada traço de concreto.

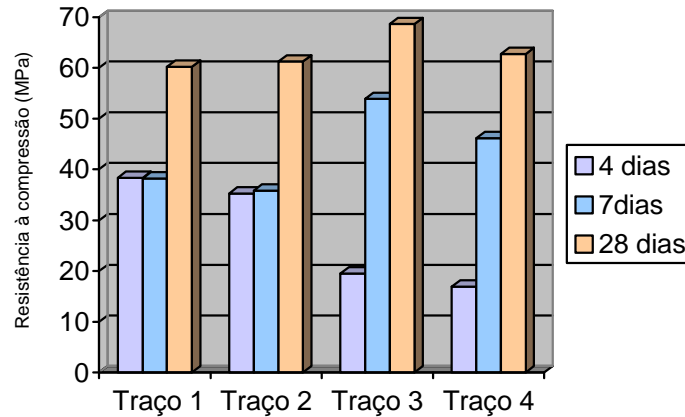
Tabela 3 – valores de resistência à compressão a 4, 7 e 28 dias.

<b>TRAÇO</b>	<b>fc 4 (MPa)</b>		<b>Fc 7 (MPa)</b>		<b>fc 28 (MPa)</b>	
<b>01</b>	38,3	34,6	38,2	35,5	57,9	60,2
<b>02</b>	33,8	35,3	35,8	30,3	57,9	61,2
<b>03</b>	19,5	18,2	53,9	48,3	68,6	67,8
<b>04</b>	15,1	16,9	46,2	45,7	61,7	62,7

Como um dos objetivos do referente estudo é a validade da aplicação do método de Mehta & Aïtcin para cimentos brasileiros e agregados da região, lembrando que a resistência especificada é de 65 MPa, fez-se necessário uma comparação entre os traços para saber quais alcançaram aos 28 dias a resistência (Figura 1) e comparativo de preços entre eles (Tabela 4).



Figura 1 – Relação entre os maiores valores de resistência à compressão e idades de rompimento de cada traço.



Na Figura 1 pode-se notar que os traços 1 e 2 ultrapassam a metade da resistência especificada (65 MPa) aos 4 dias. Nestes traços foram utilizados cimento tipo CP II F-32 e CP II F-32 + sílica ativa, respectivamente. Já os traços 3 e 4 (CP III-32 e CP III-32 + sílica ativa) não alcançaram nem 1/3 da resistência especificada aos 4 dias.

Aos 28 dias, apenas o traço 3, produzido com cimento CP III-32 superou a resistência especificada, alcançando o valor de 68,6 MPa, ultrapassando em 5,53% a resistência requerida.

Percebeu-se que aos 4 e 7 dias os traços 1 e 3, sem substituição de parte do cimento por sílica ativa, desenvolveram a estas idades resistências mais elevadas que os traços com sílica ativa.

A mistura feita com CP II F - 32 + sílica ativa (traço 2) não teve ganhos significativos de resistência à compressão quando comparada à mistura que continha apenas CP II F - 32 (traço 1). Porém, o concreto feito com CP III (traço 3) foi o único que alcançou a resistência requerida e o concreto feito com CP III + sílica ativa (traço 4) ficou 3,54% abaixo da resistência requerida.

Tabela 4 – Comparativo de custos entre os traços usados por m<sup>3</sup> de concreto

Traço	R\$
01	277,10
02	263,23
03	282,16
04	268,81

Os traços de concreto produzidos apenas com cimento, traços 1 e 3, foram mais onerosos se comparados aos traços produzidos com sílica ativa.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho experimental pode observar que não existem dificuldades na utilização do método de dosagem desenvolvido por MEHTA & AÏTCIN para materiais locais.

Não obstante a facilidade de dosagem encontrada, deve ser ressaltado que adaptações do método devem ser realizadas quanto à obtenção das resistências previstas, já que o objetivo de 65 MPa aos 28 dias somente foi atingido em um dos 4 traços realizados. Acredita-se que isto deva ter ocorrido devido as diferenças dos materiais utilizados em relação aos especificados no método, e que com alguns ajustes pode-se estabelecer uma fácil adaptação do mesmo.

Também pode-se observar no desenvolvimento das dosagens que a forma de utilização, colocação e o tipo do aditivo superplastificante influenciam diretamente na trabalhabilidade do concreto, e que portanto, estes itens devem fazer parte da especificação de produção do concreto.

O comparativo de custos pretendido ficou de certa forma prejudicado em virtude de que a resistência esperada não foi atingida em todos os traços.

Ensaio de carbonatação com 1 ano de idade serão realizados como forma de verificar-se a durabilidade do material.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos: NBR 5738.** Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto: NBR 5739.** Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland de Alto Forno. NBR 5735 (CB-18).** Rio de Janeiro, 1991

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland Composto. NBR 11578 (CB-18)** Rio de Janeiro, 1991

BAALBAKI, M.; SARKER, S. L.; AİTCIN, P. C.; ISABELLE, H. Properties and microstructure of High-performance concretes containing silica fume, slag, and fly ash. **Proceedings.** Istanbul, 1992.

MEHTA, P., K.; AİTCIN, P. C. Principles underlying production for High Strength Performance concrete. **Cement, concrete & aggregates.** V.12, n.2, 1990. p. 70-78.

MEHTA, P., K.; MONTEIRO, P., J., M. **Concreto: Estrutura, propriedades e Materiais.** São Paulo, Pini, 1994.

NEVILLE, A., M. **Propriedades do concreto.** Trad. Salvador Giamusso. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo, Pini, 1997.