

## **Estudo comparativo das resistências mecânicas do concreto de alta resistência inicial com substituição parcial do cimento Portland por metacaulim**

Jéssica Schmidt, Patrícia Montagna Allem  
UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
*patricia.allem@hotmail.com*

### **Resumo**

Este tem como principal objetivo a verificação das resistências de compressão e tração do concreto de alta resistência inicial (CARI), com substituição parcial do cimento por metacaulim. Para tanto, ficou decidido que seriam moldados 18 (dezoito) corpos de prova, prismáticos, com dimensões de 10x10x35 cm, sendo que 6 (seis) para cada um dos teores de 0%, 10% e 20% de metacaulim. Foram realizados ensaios de tração por flexão e o de compressão. Os corpos de prova com os teores de 10% e 20% apresentaram melhores resultados para o ensaio de compressão aos 7 dias. No ensaio de tração por flexão, não foram evidenciadas melhorias quanto a incremento de resistência com a substituição do aglomerante geopolimérico.

*Palavras Chave: metacaulim, concreto de alta resistência inicial, resistência a tração e resistência a compressão*

### **1. INTRODUÇÃO**

Com a evolução tecnológica o nível de exigência nas mais variadas áreas da engenharia civil aumenta e também as exigências quanto ao desempenho do concreto utilizado nas diversas atividades que compõem o mercado da construção civil. A necessidade de um concreto cada vez mais resistente aos esforços mecânicos e as intempéries teve como consequência a realização de estudos a fim de diminuir certas deficiências das misturas dos concretos convencionais de cimento Portland (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As novas exigências incidentes sobre o concreto utilizado nas diversas áreas da construção civil, englobam tanto fatores que influenciam nas características químicas e físicas do mesmo, como também em fatores econômicos e ambientais, ou seja, além da necessidade de um concreto cada vez mais durável e resistente, devido à grande demanda e ao grande porte das obras de hoje em dia, também se faz necessário levar em conta fatores como produtividade, baixo custo e

sustentabilidade. Desta forma foram surgindo alguns tipos de concreto com características especiais, dentre eles está o concreto de alta resistência inicial (CARI).

O CARI, como o nome já diz, possui capacidade de atingir alta resistência com pouca idade, para tanto se faz necessário a substituição dos cimentos mais comumente utilizados em obra pelo CP V – ARI na massa do concreto. Sobre o cimento CP V – ARI:

“A alta resistência inicial é conseguida pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências com maior velocidade.” (CIMENTO.ORG, s/d)

Este tipo de concreto é de grande valia para indústrias de estruturas ou peças pré-moldadas, em estruturas convencionais ou protendidas, na fabricação de tubos e artefatos de concreto (PORTAL DO CONCRETO, s/d.), pois além de chegarem a níveis mais elevados de resistência quando comparado ao concreto convencional (CC), geram maior produtividade, devido a sua capacidade de cura rápida, levando em média de 3 a 7 dias, e redução de custos de produção, pois segundo CREMONINI e DAL MOLIN (1991), apesar do CAR ter um custo maior por m<sup>3</sup> em relação ao CC, o mesmo permite redução das seções e conseqüentemente do volume de concreto e aço.

A durabilidade do CARI também apresenta vantagens em relação ao CC pois segundo CREMONINI e DAL MOLIN (1991) o mesmo é mais denso (menos poroso) e mais impermeável, porém é necessário que se tenha um cuidado maior no momento da dosagem e cura, pois se não houver uma execução perfeita, com o controle da temperatura do concreto, antes e depois do lançamento, a durabilidade pode ser prejudicada pela fissuração nas primeiras idades (THOMAZ, s/d.).

Segundo BELTRÃO e ZENAIDE (2010), a fabricação do cimento é uma das atividades com maior liberação de gases poluentes na atmosfera, perdendo apenas para a queima de combustíveis fósseis e gasosos, além disto o cimento hoje apresenta-se em segundo lugar na lista de materiais mais consumidos pela humanidade, perdendo apenas para a água, portanto, começou a ser estudada a possibilidade de inserção de outros materiais na composição de concretos e

argamassas a fim de que ocorra a preservação de recursos não renováveis e a redução à agressão do meio ambiente.

Dentre os materiais analisados com o intuito de trazer melhorias para as características do concreto, e também para servirem como alternativa a redução do consumo do cimento, começou a ser estudado a influência do metacaulim como adição de alta eficiência em concretos.

Segundo RABELLO (2013), o metacaulim, trata-se de um produto derivado da calcinação criteriosa de argilas caulinitas cuidadosamente selecionadas, composto basicamente de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) na fase amorfa (vítrea) o mesmo possui alta reatividade com o hidróxido de cálcio presente no concreto melhorando assim de forma indiscriminada as características químicas e físicas do mesmo, além disto, o fato de se tratar de um produto com critérios de seleção de matéria-prima e rigoroso processo de fabricação, totalmente controlado, apresenta-se com uma vantagem quando comparado com a utilização de rejeitos industriais secundários, sem controle de produção específico, na massa do concreto.

Desta forma o trabalho em questão tem como principal objetivo o estudo comparativo das propriedades mecânicas do CARI com e sem a substituição parcial de cimento por metacaulim nos teores de 10% e 20%.

## 2. OBJETIVO GERAL

Comparar as propriedades mecânicas do CARI com e sem a substituição parcial de cimento por metacaulim nos teores de 10% e 20%.

## 3. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analisar resultados de ensaios de tração por flexão com os corpos de prova aos 3 e 7 dias de idade;
- Analisar resultados de ensaios de compressão com os corpos de prova aos 3 e 7 dias de idade;
- Analisar comparativamente os resultados dos ensaios;

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Definiu-se a produção de 6 corpos de prova com CARI para cada um dos teores de metacaulim, sendo estes com formato prismático nas dimensões de 10x10x35 cm, a fim de que posteriormente fossem submetidos aos ensaios de rompimento por tração na flexão e em seguida o de rompimento por compressão, aos 3 e aos 7 dias de idade.

Para fins de análise comparativa, ficou definido que seria feita a substituição do cimento por metacaulim nos percentuais de 0%, 10% e 20%, com o traço de 1:2,3:2,4,:0,54. A definição do traço foi feita baseando-se em artigo de BARBOZA E BASTOS (s/d) realizado que tinha como intuito tabelar os valores de resistência a compressão do concreto com as idades de 1, 3, 7 e 28 dias para diferentes traços, porém no estudo em questão, optou-se apenas pelos ensaios aos 3 e aos 7 dias, pois seria feito a análise da interferência do metacaulim na capacidade que o concreto tem de adquirir ARI, para tanto foram escolhidas as resistências de 26 Mpa aos 3 dias e 30Mpa aos 7 dias e definidas as quantidades de materiais conforme tabela a baixo:

**Tabela 01 – Traços de concreto com cimento CPV-ARI**

Resistência de Dosagem Esperada (MPa) na Idade (dias)				TRAÇO EM MASSA								
				Para 1 kg de cimento				Para 1 metro cúbico				
1	3	7	28	Areia (kg)	Pedra (kg)	a/c	Aditivo (%) <sup>(1)</sup>	Cimento (kg)	Areia (kg)	Pedra (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)
3	9	11	15	4,13	3,87	0,90		225	929	871	203	3,4
5	12	16	20	3,45	3,35	0,75		265	914	888	199	4,0
10	18	22	25	2,90	2,95	0,65		306	887	903	199	4,6
13	23	26	30	2,59	2,71	0,59		337	873	913	199	5,1
14	26	30	35	2,31	2,49	0,54		371	857	924	200	5,6
16	28	34	40	2,02	2,28	0,51		408	824	930	208	6,1
18	30	36	45	1,79	2,11	0,48		444	795	937	213	6,7
20	32	40	50	1,57	1,94	0,44		487	765	945	214	7,3

Fonte: Barboza e Bastos, s/d, p.5

#### 4.1. Materiais

Os materiais utilizados na fabricação do concreto foram: cimento CPV-ARI (alta resistência inicial), brita 1, areia média, metacaulim, formas em MDF pré-fabricadas, desmoldante e betoneira. O metacaulim foi comprado da empresa Metacaulim do Brasil situada em São Paulo e fornecido em formato de saca de 20 Kg, conforme mostrado na Figura 01.

**Figura 01 – Sacca de 20Kg de metacaulimHP**



Fonte: <http://www.metacaulim.com.br/impermeabilizantes-metacaulim-hp-ultra.html>

Para o traço definido na Tabela 01, foi utilizado também um aditivo plastificante afim de garantir um “slump” favorável, porém, como no estudo em questão não será realizado o ensaio do tronco de cone, então optou-se pela não utilização do mesmo.

As quantidades de materiais especificados na Tabela 02 abaixo foram adquiridas através de cálculo de proporcionalidade, para tanto foram utilizados os dados constantes na Tabela 01 onde encontram-se determinadas as quantidades necessárias de cimento, areia, pedra e água para produção 1 m<sup>3</sup> de concreto, ou seja, sabe-se que cada mini viga possui um volume de 0,0035 m<sup>3</sup> e para cada betonada seriam necessários materiais suficientes para moldagem de 6 mini vigas, então, considerando-se uma fôrma de perda, o volume utilizado para fins de cálculo de proporcionalidade foi de 0,0245 m<sup>3</sup>, ficando assim definidas as seguintes quantidades a serem pesadas:

**Tabela 02 – Tabela de Quantidade de materiais**

TEORES (%)	CIMENTO (Kg)	AREIA (Kg)	BRITA (Kg)	ÁGUA (Kg)	METACAULIM (Kg)
0	9,09	21,00	22,64	4,9	0,00
10	8,18	21,00	22,64	4,9	0,91
20	7,27	21,00	22,64	4,9	1,82

Fonte: O autor

Conforme pode ser observado na Tabela 2 a quantidade de água foi mantida para os 3 (três) teores, mesmo sendo reduzidas as quantidades de cimento, isso se deve pelo fato de que o metacaulim, assim como o cimento, tem função aglomerante na massa do concreto, portanto para fins de aplicação da relação água cimento, se faz necessário que sejam somadas as massas dos dois aglomerantes, desta forma permanecem constantes as quantidades de água.

Para a realização dos corpos de prova, inicialmente foi aplicado desmoldante nas superfícies internas das formas pré-fabricadas, em seguida iniciou-se a pesagem dos materiais necessários para cada teor, sendo realizada em balança de precisão.

**Figura 02– Materiais pesados para os teores de 0, 10 e 20% de Metacaulim**



Fonte: O autor

Os materiais (Figura 02) foram misturados em betoneira e em seguida a massa de concreto resultante foi despejada nas formas em 3 camadas devidamente adensadas. O procedimento foi repetido para os teores de 0%, 10% e 20% de metacaulim, logo após, as mesmas foram devidamente organizadas e armazenadas para secagem, conforme Figura 03.

**Figura 03 – Etapas da Concretagem**



Fonte: O autor

#### **4.2. Métodos**

Tanto para a realização dos ensaios de 3 dias, quanto para os de 7 dias foram separados 3 corpos de prova, para desforma, afim de que, primeiramente, fossem submetidos ao rompimento por tração na flexão e em seguida, com uma das metades resultantes, ao rompimento por compressão.

O ensaio de tração por flexão foi realizado em equipamento do tipo EMIC PC200, célula TRD 30, que possui sua estrutura conforme demonstrado em Figura 04 abaixo. Para as etapas de execução, procurou-se obedecer aos termos contidos na NBR 12.142, sendo assim, foram posicionados os corpos de prova de maneira que o seu lado maior ficasse paralelo ao eixo longitudinal, sobre os cutelos inferiores e que o mesmo fique centrado entre eles. A força foi aplicada continuamente em 3 pontos de modo que o aumento de tensão nos corpos de prova ficasse compreendido entre os intervalos de 0,9 Mpa/min a 1,2 Mpa/min.

**Figura 04 – Ensaio de Tração na Flexão**



Fonte: o autor

Os ensaios de compressão foram realizados em máquina do tipo EMIC PC200, célula TRD 30, de maneira a atender os termos contidos na NBR 5.739, contudo, a referida norma tem como intuito estabelecer critérios para a realização de ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos; para o caso em questão foram utilizados corpos de prova em forma de prismas retangulares, utilizando-se uma chapa metálica com dimensão de 10 x 10cm, desta forma a área de contato é compatível para futuras análises de resultados. Conforme pode ser observada, na Figura 05 abaixo, foi utilizado uma prensa hidráulica e o corpo de prova foi posicionado de maneira que seu eixo coincidissem com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passasse pelo centro, tornando assim a aplicação da força contínua e isenta de choques.

**Figura 05 – Ensaio de compressão**



Fonte: o autor

## **5. Resultados e Discussões**

Os estudos realizados tinham como intuito fazer a análise comparativa das resistências mecânicas do concreto de alta resistência inicial, com adição de metacaulim.

Os ensaios realizados foram os de tração por flexão e o de compressão. Para fins de análise dos resultados foi feita a média das resistências obtidas dos 3 (três) corpos de prova, de cada teor, utilizados para os ensaios de 3 e de 7 dias de idade.

### 5.1. Resistência a Tração

As resistências à tração do concreto são imensamente inferiores que as resistências à compressão, segundo Rabello (2013) a razão frequente entre ambas varia entre 0,07 e 0,15, por este motivo, normalmente, não é levado em conta a resistência a tração em determinadas estruturas, porém é de extrema importância que se tenha conhecimento desta, para que assim haja um controle a respeito do surgimento de possíveis fissuras nos elementos estruturais que compõem uma edificação, fissuras estas que segundo Rabello (2013) podem surgir tanto por tensões de origem térmicas como por retração na secagem, desta forma, o conhecimento da resistência a tração é primordial para que se tenha um maior controle da durabilidade das estruturas de concreto.

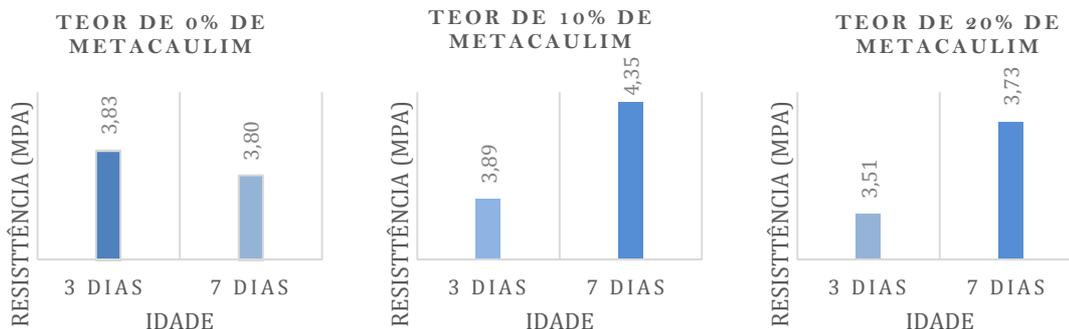
Nos ensaios de tração por flexão, os resultados obtidos foram os dispostos na Tabela 04 abaixo:

**Tabela 04 – Resultados dos Ensaios de Tração**

<b>Idade/Teores</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>Percentual</b>	<b>20%</b>	<b>Percentual</b>
3 dias	3,83 Mpa	3,89 Mpa	+1,57%	3,51 Mpa	-8,35%
7 dias	3,80 Mpa	4,35 Mpa	+14,47%	3,73 Mpa	-1,84%

O que se pode observar nos resultados obtidos acima é que as resistências a tração, tanto para os ensaios de 3 dias quanto para os de 7 dias de idade, mantiveram-se quase constantes, ocorrendo até uma pequena baixa, em algumas situações, Segundo ALLEM (2016) isto se deve pelo fato de que os dois aglomerantes, cimento e metacaulim, apresentam resistências semelhantes a tração. Abaixo encontram-se os gráficos de resistência x idade nos teores de 0%, 10% e 20%, para melhor visualização dos resultados obtidos:

**Figura 06 – Resistências a tração obtidas**



Fonte: o autor

Verificou-se que com a adição do metacaulim, nas proporções de 10% e 20% a resistência apresentou um incremento aos 7 dias, fato que certifica que o aglomerante metacaulim apresenta uma cura rápida e aumento de resistência já nos primeiros 7 dias.

## 5.2. Resistência a Compressão

A resistência a compressão é uma propriedade de extrema importância para a utilização do concreto, pois é referenciada, no mundo todo, como critério para aplicação deste material. Segundo Rabello (2013) ainda que em certas aplicações ela possa não ser a propriedade mais importante, é sempre utilizada, porém, muitas vezes serve apenas como controle de outras medidas difíceis de serem conduzidas de forma constante.

Para o estudo em questão, foram realizados os ensaios de compressão axial e chegaram-se aos seguintes resultados:

**Tabela 03 – Resultados dos Ensaios de Compressão**

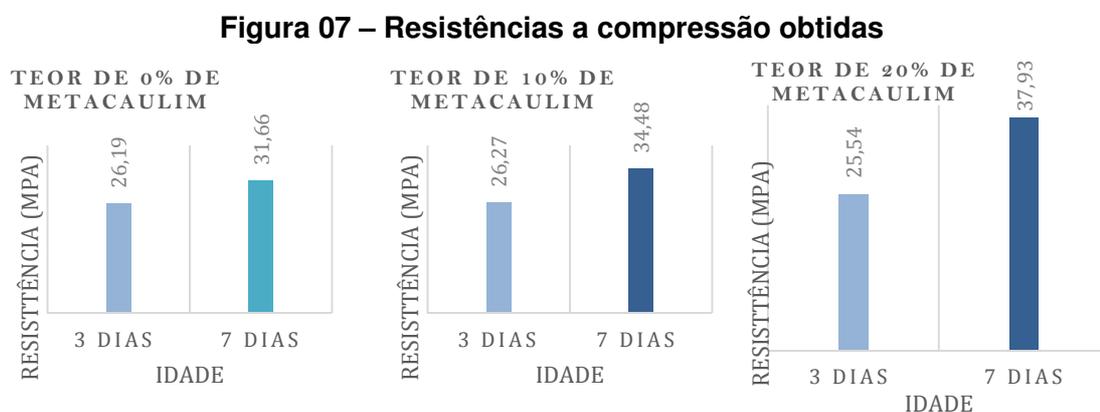
Idade/Teores	0%	10%	Percentual	20%	Percentual
3 dias	26,19 Mpa	26,27 Mpa	+0,30%	25,54 Mpa	-2,48%
7 dias	31,66 Mpa	34,49 Mpa	+8,93 %	37,93 Mpa	+19,80%

Fonte: O autor

Segundo o que pode ser observado, na Tabela 03, as resistências a compressão não apresentaram aumento significativo nos ensaios realizados aos 3 dias de idade, para o teor de 10%, ocorrendo até uma pequena redução de 0,65 Mpa de resistência para o teor de 20%, já nos ensaios de 7 dias, a resistência

aumentou significativamente chegando a 19,80%, em relação ao CARI sem metacaulim, para o teor 20%, isto se deve ao fato de que, segundo Rabello (2013), as atividades pozolânicas do metacaulim iniciam-se após as reações de hidratação do cimento (tempo de pega), pois nesse período (primeiros dias) que é produzido o hidróxido de cálcio necessário para que ocorram as reações pozolânicas, proporcionadas pela utilização do metacaulim, que irão agregar resistência ao concreto.

A Figura 07 apresenta os gráficos de resistência x idade de cada um dos teores, para melhor visualização dos resultados obtidos:



Fonte: O autor

Pelo que pode ser observado nos gráficos, o concreto com teor de 20% de metacaulim, apesar de possuir menor resistência aos 3 dias, apresentou-se mais eficiente do que com os teores de 0% e 10%, pois seu aumento de resistência entre os 3 e 7 dias foi de 12,39 Mpa. Este resultado comprova o fato de que uma maior quantidade de metacaulim gera maior número de reações pozolânicas e diminui ainda mais o percentual de vazios do concreto, desta forma, agregando resistência ao mesmo.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho tinha como intuito fazer a análise comparativa das resistências mecânicas do CARI com substituição parcial do cimento por metacaulim nos teores de 10% e 20%, para tanto foram moldados corpos de prova em formato de prismas

retangulares afim de que fossem submetidos aos ensaios de tração por flexão e de compressão aos 3 e 7 dias de idade.

Para os ensaios de tração, os resultados mantiveram-se quase constantes, em relação ao CARI, sem adição de metacaulim, sendo o melhor resultado obtido nos ensaios de 7 dias com o teor de 10%, representando um aumento de 0,65 Mpa, desta forma chegou-se à conclusão de que o metacaulim não influencia de maneira significativa as resistências a tração do concreto, sendo indiferente a sua utilização ou não.

Para os ensaios de compressão, os resultados apresentaram-se constantes, também, para os 3 dias de idade, porém, houve uma melhora significativa nas resistências obtidas aos 7 dias, sendo que aumentou a resistência em uma proporção de 8,93% para o teor de 10% e 19,80% para o teor de 20%. Desta forma conclui-se que a utilização do metacaulim no CARI, além de ser uma alternativa na tentativa de reduzir a quantidade de cimento das misturas convencionais, o mesmo não interfere de forma negativa nas resistências a tração do concreto. A substituição parcial também aumenta significativamente a sua resistência a compressão aos 7 dias, tornando ainda mais eficiente a capacidade que o CARI tem de adquirir altas resistências com pouca idade. A utilização do metacaulim representa opção válida como substituição do cimento tipo CPV-ARI nas misturas de CARI, porém segundo ALLEM (2016), ainda há necessidade de que sejam feitos estudos e normas que viabilizem o seu uso dentro da construção civil.

#### Trabalhos futuros:

- Estudar diferentes concentrações de aglomerantes alternativos, visando reduzir impactos ambientais e aumentar a resistência inicial;
- Ensaiar corpos de prova aos 28 dias e conferir se o incremento de resistência acontece somente nos primeiros dias ou até a cura total;

## 7. REFERÊNCIAS

ALLEM, Patrícia Montagna. **Estudo de concreto geopolimérico com o uso de fibras de aço**. 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma-sc, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **5.733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: Anbt, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **5.739**: Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico. 2 ed. Rio de Janeiro: Anbt, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 12142**: Determinação da resistência a tração na flexão de corpos de prova prismáticos. 2 ed. Rio de Janeiro: Anbt, 2010. 5 p.

BARBOZA, Marcos R.; BASTOS, Paulo Sergio. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. Disponível em: <[http://www.feb.unesp.br/pbastos/site\\_paulo/ArtigoTracosConcreto-PauloBastos.pdf](http://www.feb.unesp.br/pbastos/site_paulo/ArtigoTracosConcreto-PauloBastos.pdf)>. Acesso em: 26 out. 2016.

BRASIL, Sebastião Pereira da Silva. **Balanco Mineral Brasileiro: Caulim**. 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-caulim>>. Acesso em: 29 maio 2016.

CPV-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial. Disponível em: <<http://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/>>. Acesso em: 25 out. 2016.

DINIZ, Marcelo Andrade. **Concreto Auto Adensável utilizando resíduos de Caulim**. 2010. 124 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

MARCO RABELLO (São Paulo/sp). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. **Estudo da influência do metacaulimHP como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2003. 65 p. Disponível em: <<http://www.unama.br/graduacao/engenharia-civil/tccs/2010/A-INFLUENCIA-METACAULIM-PROPRIEDADES-CONCRETO.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.

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

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto de Alta Resistência Inicial.** s/d. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/inicial.html#>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

R. A. CREMONINI (Porto Alegre/rs). Norie – Núcleo Orientado Para A Inovação na Edificação. **Desenvolvimento de um Método de Dosagem de Concretos de Alta Resistência com Baixo Consumo de Cimento.** Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/e/e5/Heloisa\\_Campos\\_Material\\_Complementar\\_Dosagem\\_CAR.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/e/e5/Heloisa_Campos_Material_Complementar_Dosagem_CAR.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2016.

THOMAZ, Eduardo C. S. **Concretos de Alta Resistência:** Traços, Linhas de Tendências. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, s/d. 18 p. Disponível em: <[http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos\\_concretos/traco.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos_concretos/traco.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2016.