



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE TECNOLOGIA EM CONCRETO

IZABEL ALEXSSANDRA COLAÇO

LUZIA DE CÁSSIA P. SANTOS

**ANÁLISE DE CONCRETOS DE PÓS REATIVOS A BASE DE CARBONATO EXTRA LEVE,  
MICA E CARBONATO DE CÁLCIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

IZABEL ALEXSSANDRA COLAÇO

LUZIA DE CÁSSIA P. SANTOS

**ANÁLISE DE CONCRETOS DE PÓS REATIVOS A BASE DE CARBONATO EXTRA LEVE,  
MICA E CARBONATO DE CÁLCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Mazer

CURITIBA

2012

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

## DEDICATÓRIA

À memória de Rosa Jukiewicz Colaço, mãe amada e admirada, mulher guerreira e de uma fé inabalável, agradeço pelo amor incondicional, pela educação, confiança e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu pai Waldomiro pelo exemplo, de que na vida todos podem mudar e merecer uma segunda chance.

A minha irmã Ivete pelo amor, companheirismo e cumplicidade que sempre demonstrou a mim, principalmente nos momentos difíceis.

Ao meu esposo e amigo Diogo, pelo incentivo, amor e cumplicidade em todos os momentos.

Izabel

Ao nosso orientador, professor Wellington, cuja sabedoria, competência e seriedade, juntamente com sua paciência e orientação, foram fundamentais para o andamento e conclusão deste trabalho.

À meu esposo Vanderlei, que me acompanhou desde os primeiros instantes, apoiando, incentivando, ajudando e me trazendo para a realidade quando era preciso.

Às minhas filhas Júlia e Letícia, que com suas chegadas em nossas vidas serviram de motivação para o início e conclusão deste trabalho.

À minha irmã Launízia pela ajuda no cuidado de minhas filhas nos momentos em que tive que me dedicar exclusivamente à conclusão deste trabalho.

Luzia

## RESUMO

COLAÇO, Izabel A.; SANTOS, Luzia C. P. Análise de concretos de pós-reativos a base de Carbonato Extra Leve, Mica e Carbonato de Cálcio 2012. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

A constante busca e necessidade de concretos mais resistentes resultaram em novas técnicas e estudos onde se melhoraram suas propriedades mecânicas através da eliminação dos agregados graúdos e do aperfeiçoamento da composição granulométrica da mistura. Por meio de pesquisas realizadas desde 1990 na França e no Canadá, foi desenvolvido o Concreto de Pós Reativos (CPR), para substituir o concreto de alto desempenho (CAD). É composto basicamente por pós – areia de quartzo, cimento comum, pó de quartzo e sílica ativa (microssílica), fibras de aço de pequenas dimensões, superplastificante e água, sendo os sólidos com tamanhos inferiores a 2mm, e sua resistência à compressão é acima de 150MPa. Este trabalho visa analisar a resistência à compressão e absorção de água obtidas em três tipos de concretos executados com diferentes materiais pulverulentos. Foram utilizados, no lugar do pó de quartzo, as substâncias carbonato extra leve, mica e carbonato de cálcio, sendo usado um destes componentes em cada concreto. Os corpos de prova foram curados a temperaturas de 20°C e 90°C e rompidos com idades de 7 e 28 dias. Os resultados obtidos indicaram que a temperatura de cura e o tempo de submissão ao tratamento térmico tornou o material mais resistente. Os concretos desenvolvidos apresentaram altas resistências à compressão a excelente média de absorção à umidade, se comparados aos concretos convencionais, mas não podem ainda ser classificados como CPR, pois as resistências obtidas foram inferiores a 150MPa. A mica mostrou-se não adequada a esse tipo de concreto por apresentar os piores resultados. O carbonato de extra leve e a calcita, apesar dos resultados também baixos para um CPR, mostraram possuir potencial para o mesmo, através de novos estudos com aperfeiçoamento das técnicas utilizadas.

Palavras-chave: concreto de pós-reativos; adição de finos.

## ABSTRACT

Colaço, Izabel A., Santos, Luzia C. P. Analysis of post-specific-reactive carbonate base Extra Light, mica and calcium carbonate 2012. 49 f. · Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

The constant search and need for stronger concrete resulted in new techniques and studies where improved mechanical properties through the elimination of coarse aggregates and the betterment of granulometric composition of the mixture. Through surveys conducted since 1990 in France and Canada, was developed Reactive Powder Concrete (RPC), to replace the High Performance Concrete (HPC). It is basically composed of powders - quartz sand, cement common, quartz powder and silica fume, steel fibers small, superplasticizer and water, and solids with sizes less than 2 mm, and its compressive strength is in around 150MPa. Este study aims to examine the compressive strength and moisture absorption from three types of concrete run with different powders materials. Were used in place of the quartz powder substances extra light carbonate, mica and calcium carbonate, of these components being used in each concrete. The samples were cured at temperatures of 20 ° C and 90 ° C and tested aged 7 and 28 days. The results indicated that the curing temperature and time of subjection to heat treatment became stronger material. The concrete had developed high resistance to compression to excellent average to moisture absorption when compared to conventional concrete, but can not yet be classified as RPC, because the resistances obtained were less than 150MPa. The mica was found to be not suitable for this type of concrete to present the worst results. The extra light carbonate and calcite, despite its low for a RPC also showed to possess the same potential by means of further studies with improved techniques.

Keywords: Reactive Powder Concrete; fines addition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Passarela de Sherbrooke Canadá /2002.....	17
Figura 2 Passarela Seonyu Coréia/2002.....	18
Figura 3 Peneirador mecânico .....	30
Figura 4 Misturador Mecânico- laboratório UTFPR .....	34
Figura 5 Mistura mecânica dos materiais .....	34
Figura 6 Moldes Cilíndricos 5x10cm .....	36
Figura 7 Placa de acrílico sobre o corpo de prova.....	36
Figura 8 Equipamento de Imersão- UTFPR.....	37
Figura 9 Prensa computadorizada -UTFPR.....	38
Figura 10 Corpo de prova rompido .....	38

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Distribuição granulométrica obtida do modelo de Furnas.....	20
Gráfico 2 Distribuição granulométrica obtida através do modelo de Andreasen .....	21
Gráfico 3 Distribuição granulométrica obtida através do modelo de Alfred.....	22
Gráfico 4 Evolução á compressão dos cimentos Portland .....	28
Gráfico 5 Resistência á compressão axial aos 7 dias e temperatura de cura 20°C e 90° C .....	40
Gráfico 6 Resistência a compressão axial aos 28 dias temperatura de cura 20°C e 90°C.....	42
Gráfico 7 Resistência a compressão axial de Pó de quartzo e Carbonato extra leve aos 7 e 28 dias temperatura de cura de 20°C e 90°C.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Ensaio físico dos cimentos CII32 e o CPV-ARI.....	29
Tabela 2 Características físicas e químicas da Silica.....	31
Tabela 3 Relação de insumos utilizados no traço .....	32
Tabela 4 Dosagem utilizada para estudo do concreto de pós reativos .....	33
Tabela 5 Temperatura e tempo de cura dos corpos de prova.....	33
Tabela 6 Resistência a compressão do CPR aos 7 dias e temperatura de cura de 20°C.....	39
Tabela 7 Resistência a compressão do CPR aos 7 dias e temperatura de cura de 90°C.....	40
Tabela 8 Resistência a compressão do CPR aos 28 dias e temperatura de cura de 20°C.....	41
Tabela 9 Resistência a compressão do CPR aos 28 dias e temperatura de cura de 90°C.....	41
Tabela 10 Resistência a compressão do CPR aos 7 e 28 dias e temperatura de cura de 20°C e 90°C .	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MPa .....	Mega Pascal
CPR .....	Concreto de Pós Reativos
°C .....	Grau Celsius
CAD .....	Concreto de Alto Desempenho
CUAD .....	Concreto de Ultra Alto Desempenho
Kgf.....	Kilogramaforça
CSH .....	Silicato de Cálcio Hidratado
(CaOH) <sub>2</sub> .....	Hidroxido de Cálcio
UBM .....	União Brasileira de Mineração
CaCO <sub>3</sub> .....	Carbonato de Cálcio
CO <sub>2</sub> .....	Gás Carbônico
MgCO <sub>3</sub> .....	Carbonato de Magnésio
CETEM .....	Centro de Tecnologia Mineral
CPV-ARI .....	Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial
ABCP .....	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR .....	Norma Brasileira
SiO <sub>2</sub> .....	Silica
SANEPAR.....	Companhia de Saneamento do Paraná.
UTFPR .....	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

# SUMÁRIO

1.Introdução.....	12
1.1 Justificativa do Tema.....	12
1.2 Objetivos.....	13
1.2.1 Objetivo Geral.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Revisão Bibliográfica.....	14
2.1 Concreto de Alto Desempenho (CAD).....	14
2.2 Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD) .....	15
2.3 Concreto de Pós Reativos (CPR).....	16
2.4 Empacotamento de Partículas .....	18
2.4.1 Modelos de Empacotamento de Partículas .....	19
2.4.1.1 Modelo de Furnas.....	19
2.4.1.2 Modelo de Andreasen .....	20
2.4.1.3 Modelo de Alfred.....	21
2.5 Efeitos da Temperatura no Concreto de Pós Reativos.....	22
2.6 Materiais Pulverulentos.....	24
2.6.1 Mica.....	24
2.6.2 Carbonato Extra Leve.....	25
2.6.3 Carbonato de Cálcio (Calcita).....	26
3. Metodologia Materiais e Métodos.....	28
3.1 Materiais.....	28
3.1.1 Cimento.....	28
3.1.2 Agregado Miúdo .....	29
3.1.3 Sílica.....	30
3.1.4 Aditivo Superplastificante.....	31
3.1.5 Água de Amassamento.....	31
3.1.6 Material Pulverulento .....	32
3.2 Métodos.....	32
3.2.1 Traço utilizado.....	32
3.2.2 Procedimento de mistura.....	33

3.2.3 Moldagem e adensamento dos corpos de prova.....	35
3.2.4 Cura dos corpos de prova.....	36
3.2.5 Ensaio realizados.....	37
3.2.5.1 Ensaio de resistência à compressão axial .....	37
3.2.5.2 Ensaio de absorção de água por imersão.....	38
<b>4. Análise dos resultados.....</b>	<b>39</b>
4.1 Considerações iniciais.....	39
4.2 Resistência à compressão .....	39
4.3 Comparações dos resultados.....	42
<b>5. Considerações Finais .....</b>	<b>45</b>
5.1 Conclusões.....	45
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	46
<b>6. Referências.....</b>	<b>47</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

A constante busca pela obtenção de concretos mais resistentes resultou no desenvolvimento do Concreto de Pós Reativos (CPR).

Basicamente, a composição deste concreto consiste na mistura de cimento Portland, sílica ativa (microsílica), pó-de-quartzo, agregado miúdo, microfibras de aço, aditivo superplastificante e água, sendo os sólidos com tamanhos inferiores a 2 mm. Apesar da ausência de agregado graúdo, o que o diferencia de uma argamassa é o fato de ser um material desenvolvido para fins estruturais.

Enquanto o concreto de alto desempenho pode atingir resistência aproximada de 120 MPa, o concreto de pós reativos geralmente possui resistência à compressão em torno de 200 MPa. Fisicamente, o que ocorre é a distribuição granulométrica de forma que o maior grão esteja envolto por partículas menores, que distribuem as tensões. Ou seja, todos os vazios são preenchidos adequadamente.

Por ser um material novo, suas propriedades mecânicas e seu comportamento estrutural ainda estão sendo estudados e não existem muitos estudos utilizando-se diferentes tipos de pós, e que alcancem propriedades mecânicas iguais ou acima dos atualmente utilizados.

Por isso, este trabalho visa estudar as propriedades obtidas em três tipos de concretos executados com diferentes pós-reativos. No lugar do pó de quartzo, comumente utilizado neste tipo de concreto, iremos utilizar as substâncias carbonato extra leve, mica e carbonato de cálcio, sendo adicionada uma delas em cada concreto a ser analisado.

## **1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA**

No Brasil, as estruturas de concreto armado se tornaram cada vez mais utilizadas e com isso surgiu a necessidade de constantes estudos na busca de estruturas mais resistentes aos ataques do meio externo e do tempo.

A descoberta do CPR permitiu um grande avanço na construção civil, pois sua utilização permite executar peças mais esbeltas, leves, com baixo custo de manutenção e maior vida útil, se comparadas ao concreto preparado com materiais convencionais. Por ser um material extremamente resistente à umidade e com grandes resistências mecânicas torna-se economicamente viável, por exigir menos manutenções.

Mas ainda há poucos estudos abrangendo o uso de diferentes materiais na sua composição. E por isso, os resultados deste trabalho serão de grande utilidade para o desenvolvimento de novas técnicas para a confecção do CPR.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um concreto de pós reativos que alcance uma resistência à compressão próxima de 200MPa, utilizando para isso três tipos de concreto, contendo respectivamente as substâncias carbonato extra leve, mica e carbonato de cálcio, bem como, temperaturas de cura de 20°C e 90°C.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Verificar a influência das substâncias propostas na resistência à compressão.
- Proporcionar um concreto menos poroso possível.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO (CAD)**

Até a década de 80, o principal critério para avaliação de um concreto, que presumia-se ser de bom desempenho, era a resistência à compressão. Mas, em virtude das inúmeras manifestações patológicas que vêm ocorrendo nas construções civis atuais, houve a necessidade de uma revisão profunda nos conceitos de durabilidade e desempenho dos materiais usados nestas construções. Hoje em dia, sabe-se que desempenho e durabilidade são fatores básicos para que se possa afirmar se um material tem ou não qualidade. (IBRACON, 2001).

Esses fatores são ligados entre si, pois se pode dizer que o desempenho do material significa seu comportamento durante o uso e a sua durabilidade diz respeito à conservação do desempenho deste ao longo de sua vida útil.

O CAD é calculado para se obter elevada resistência e durabilidade. Com a utilização de adições e aditivos especiais sua porosidade e permeabilidade são reduzidas, tornando as estruturas elaboradas com este tipo de concreto mais resistentes ao ataque de agentes agressivos tais como cloretos, sulfatos, dióxido de carbono e maresia. O CAD tem suas resistências superiores a 40 MPa, o que é de extrema importância para estruturas que necessitem ser compostas por peças com menores dimensões. Além do aumento na vida útil das obras, este concreto pode proporcionar desformas mais rápidas, diminuição na quantidade e metragem das formas e maior rapidez na execução da obra. (PORTAL DO CONCRETO).

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 CAD pode ser aplicado em várias situações como estruturas com cargas ou tensões de compressão elevadas, obras emergenciais ou de recuperação e estruturas em ambientes agressivos ou que necessitem de alta durabilidade.

A utilização do CAD possui várias vantagens como:

- redução das seções de peças comprimidas e aumento de vãos e área útil de estacionamentos;
- redução do peso próprio da estrutura, do volume de concreto, das fundações, do consumo de aço e do custo final da obra;
- melhores características mecânicas: compressão, desgaste e módulo de elasticidade, menor deformação, baixa permeabilidade, boa trabalhabilidade e ausência de exsudação (eflorescência de água durante o lançamento e adensamento do concreto).

## **2.2 CONCRETO DE ULTRA-ALTO-DESEMPENHO (CUAD)**

Nos últimos 20 anos, o surgimento de novos métodos de dosagem, uso de aditivos e a associação de minerais ultrafinos com microfibras metálicas ou orgânicas, juntamente com uma constante busca por concretos mais resistentes, resultou no desenvolvimento de concretos de alta performance ou ultra alto desempenho – CUAD, cujo representante mais estudado e utilizado é o Concreto de Pós Reativos (CPR).

A composição do CUAD consiste na mistura de cimento Portland, sílica ativa, pó-de-quartzo, agregado miúdo, microfibras de aço (mais usuais) ou orgânicas, aditivo super plastificante e água. A resistência mínima à compressão axial do CUAD alcança em torno de 150MPa aos 28 dias, bem superior aos 20 a 40 MPa dos concretos comuns e mesmo dos 120Mpa dos concretos de alto desempenho (CAD). Na resistência à tração na flexão, a resistência fica entre 20 e 50 MPa. (Revista Techné, 2009)

O resultado do ultra-alto desempenho destes concretos se deve a uma combinação de diversas propriedades: (Cimento Itambé, 2008)

- diminuição da porosidade através da utilização de uma distribuição de granulometria, obtida pela combinação dos agregados finos, que são o cimento Portland, sílica ativa, pó-de-quartzo e o agregado miúdo;
- baixa relação água/cimento (em torno de 0,15 e 0,20), possível devido à utilização de aditivo superplastificante;
- fácil moldagem devido a sua característica de auto-adensável, graças ao uso do aditivo superplastificante;
- reforço com microfibras de aço na maioria das vezes;
- a retração praticamente não existe neste tipo de concreto, o que o torna atrativo para uso em concreto protendido.

No Brasil, ainda não há exemplos práticos de aplicação de CUAD. As pesquisas referentes a este tema são raras no país, e a bibliografia utilizada baseia-se em referências internacionais.

### **2.3 CONCRETO DE PÓS REATIVOS (CPR)**

Os concretos de pós reativos (CPR), são concretos formados por partículas menores que 2mm, ou seja, é um concreto que não possui agregados graúdos em sua composição. É composto por cimento, areia de quartzo, sílica ativa (microssílica), pó-de-quartzo, microfibras de aço, aditivo superplastificante e água. É considerado um material novo, em que suas propriedades mecânicas e o seu comportamento estrutural estão sendo estudados. (VANDERLEI, 2004)

O concreto tem o nome de “pós reativos” porque se trata da combinação de vários materiais finos. Pós se refere ao plural de pó. Neste caso, “pós” não tem nenhuma relação com o significado de algum tipo de reação tardia ou atrasada. (Cimento Itambé, 2008)

Por meio de pesquisas realizadas desde 1990, na França e no Canadá, o CPR foi desenvolvido para substituir o CAD, tornando-se o material de tecnologia de ponta, projetado especificamente para atender a exigências industriais e militares. Para termos uma idéia do que representa esta revolução tecnológica, basta dizer que o concreto convencional atinge até 40 MPa; o CAD atinge resistências até 120 MPa e o CPR está numa faixa de resistência à compressão até 800 MPa.

Este concreto oferece grandes resistências a compressão, tração e flexão, quando adicionadas fibras metálicas em sua composição. A incorporação de fibras metálicas melhora a ductilidade e a otimização da distribuição granulométrica aumenta a densidade. O concreto de pós reativos geralmente possui resistência à compressão acima de 150MPa. O CPR pode ser classificado em CPR200, para aqueles com resistência à compressão entre 170MPa e 230MPa, e CPR800 para aqueles com resistência entre 500 e 800MPa. (VANDERLEI, 2004)

A grande resistência do concreto de pós reativos se dá à distribuição granulométrica, de forma que o maior grão esteja envolto por partículas menores que distribuem as tensões (empacotamento dos grãos). Ou seja, todos os vazios são preenchidos adequadamente. (Cimento Itambé, 2008)

Os CPR são fabricados com baixíssima relação água/cimento, que pode variar entre 0,15 e 0,20 e é viabilizada devido ao uso de aditivo superplastificante. (Revista Tecnê, 1999)

O CPR aparece principalmente em pesquisas internacionais mostrando-se como alternativa para aplicação em obras que aproveitem sua excelente resistência à tração, à compressão, impermeabilidade e durabilidade (VANDERLEI, 2004).

A utilização do CPR permite executar peças esbeltas, leves, com baixo custo de manutenção e maior vida útil, se comparadas ao concreto convencional. Conforme artigo publicado na Revista Techné, em 1999, o CPR é bastante interessante na construção de estruturas espaciais leves, tabuleiro de pontes, vigas, passarelas, além de obras hidráulicas e de saneamento, construções para armazenamento de rejeitos radioativos, etc. Exemplos desta nova tecnologia são a passarela de Sherbrooke, construída no Canadá em 1997, que possui 56m de vão e foi a primeira estrutura construída com CPR (figura 1), e a passarela Seonyu, construída na Coreia no ano de 2002, com arco central de 120 metros de vão, 4,3 metros de largura e 1,30 metros de espessura (figura 2). Sobre a passarela, há uma placa de concreto de apenas 3 centímetros de espessura. (Cimento Itambé, 2008)

Este tipo de concreto também pode ser utilizado como elemento de revitalização de estruturas. Por ter uma estrutura da pasta de cimento hidratada densa com uma baixíssima permeabilidade, permite que o concreto tenha alta resistência ao ataque de agentes externos e ao risco da reação álcali sílica. A ausência de poros capilares garante também uma elevada resistência ao gelo/degelo, e a quase inexistência de retração, tanto pela baixa relação água/cimento quanto pela porosidade diminuta, não havendo espaços para ocorrência de variações volumétricas (VANDERLEI, 2004).



Figura 1 - Passarela de Sherbrooke Canadá /2002  
Fonte: Revista Techné



Figura 2 - Passarela Seonyu Coréia/2002  
Fonte: Revista Techné (2007)

## 2.4 EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

Segundo Vanderlei (2004), a dosagem do concreto de pós reativos visa criar um material com o mínimo de defeitos utilizando partículas sólidas de pequenos diâmetros, variando entre 2mm e 0,5 $\mu$ m, proporcionando uma mistura de alta densidade e o mínimo de vazios, através de uma correta distribuição granulométrica destas partículas. Esta distribuição é estudada de modo a aumentar a densidade, diminuindo-se os espaços entre as partículas maiores e preenchendo-os com partículas menores, procurando formar o que chamamos de “empacotamento”.

O estudo de empacotamento é bastante amplo e já existem alguns métodos desenvolvidos. Como o CPR é um material de granulometria fina e bastante compacta, ele se assemelha aos compósitos cerâmicos. Por isso, utilizaram-se os métodos usados na fabricação destes compostos. (VANDERLEI, 2004).

Com a utilização de aditivos superplastificantes na mistura de concretos de alto desempenho a densidade aumenta, pois a quantidade de água utilizada nestes concretos é muito baixa. Para se obter uma melhor compactação e preenchimento dos vazios existentes entre os grãos, são utilizados componentes finos e ultrafinos que também aumentam a densidade do concreto. Assim, o conceito de uma alta densidade de empacotamento foi

recentemente redescoberto como um parâmetro chave para a obtenção de materiais cimentícios de ultra alto desempenho. (METHA e MONTEIRO, 2008).

### 2.4.1 Modelos de Empacotamento de Partículas

A densidade da mistura influencia bastante a resistência à compressão do CPR. Por isso, ela pode ser aumentada através de uma boa distribuição granulométrica, utilizando-se diferentes modelos teóricos de distribuição, dentre os quais os mais consagrados são o de Furnas, de Andreasen e Alfred. Estes modelos são empregados para propiciar um melhor empacotamento das partículas, visando alcançar um produto final o mais denso possível pela associação de materiais de diferentes formas, finuras e granulometrias. (HENCHE e MAZER, 2010).

#### 2.4.1.1 Modelo de Furnas

O modelo de Furnas trata-se de um método de abordagem discreta, ou seja, avalia as partículas integrantes da mistura individualmente. Este modelo mostrou que as proporções dos vários tamanhos de partículas envolvidas na constituição granulométrica, que apresenta como objetivo obter a máxima densidade possível para um modelo formam uma progressão geométrica. (HENCHE e MAZER, 2010).

A equação proposta por Furnas (equação 1) é apresentada abaixo, bem como seus parâmetros.

$$CPFT (\%) = 100 \left( \frac{D_p^{\log r} - D_s^{\log r}}{D_L^{\log r} - D_s^{\log r}} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: CPFT = porcentagem acumulada de partículas menores que  $D_p$ ;

$D_p$  = diâmetro da partícula em questão em mm;

$D_s$  = diâmetro da menor partícula em mm;

$D_L$  = diâmetro da maior partícula em mm;

$r$  = quociente entre o volume retido em uma malha e na imediatamente inferior.

A partir dos percentuais retidos acumulados nas nove malhas consideradas mais o fundo, construiu-se a curva de empacotamento para o método de Furnas (Gráfico1), que mostrou não ser a melhor situação para a distribuição granulométrica. O perfil da curva que melhor representa a distribuição granulométrica é a curva da elipse ou a curva mais próxima possível da representação de  $\frac{1}{4}$  da elipse, a qual não se verificou neste método. (HENCHE E ALESSI,2010)

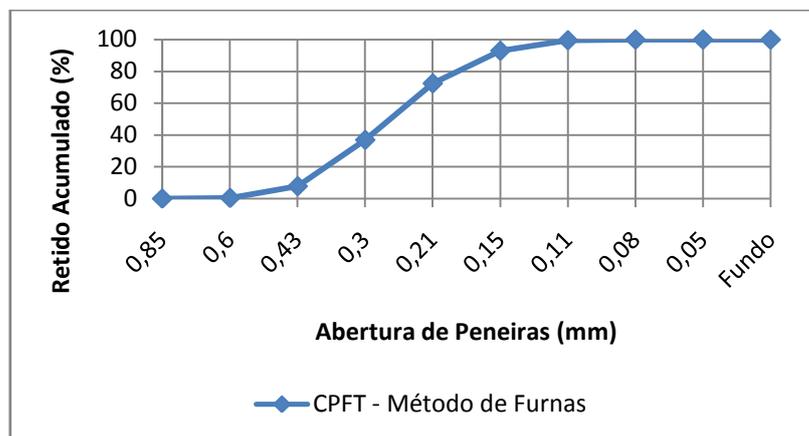


Gráfico 1 - Distribuição granulométrica obtida do modelo de Furnas  
Fonte: Henche e Alessi (2010)

#### 2.4.1.2 Modelo de Andreasen

O modelo de Andreasen se difere do modelo de Furnas, pois considera uma distribuição real, onde todos os tamanhos de partículas podem ser considerados. A equação proposta pelo modelo se difere da Equação 1, dentre outros aspectos, pelo aparecimento do coeficiente de distribuição “q” utilizado para alcançar o melhor efeito possível de empacotamento. A maior contribuição do método de Andreasen foi realmente a incorporação do conceito de tamanho mínimo da partícula, tornando o modelo mais próximo da realidade. (HENCHE e MAZER, 2010)

$$CPFT (\%) = 100 \left( \frac{D_p}{D_L} \right)^q \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: CPFT = porcentagem acumulada de partículas menores que  $D_p$ ;

$D_p$  = diâmetro da partícula em questão em mm;

$D_L$  = diâmetro da maior partícula em mm;

$q$  = coeficiente de empacotamento

A partir de resultados obtidos das partículas retidas acumuladas, construiu-se a curva de distribuição granulométrica do modelo, como indicado no Gráfico 2, que também não se mostrou adequado para a dosagem do concreto de pós-reativos.

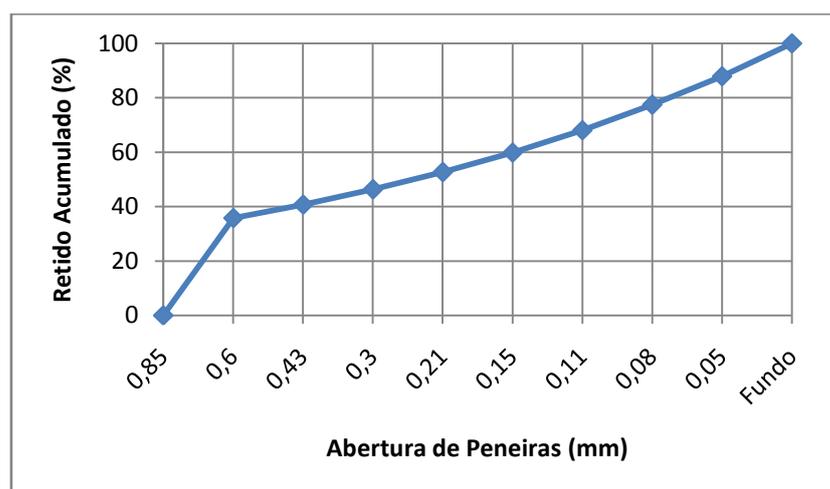


Gráfico 2 - Distribuição granulométrica obtida através do modelo de Andreasen  
Fonte: Henche e Mazer (2010).

### 2.4.1.3 Modelo de Alfred

Em 1992 foram realizados uma série de estudos nos modelos de empacotamento propostos, provando que os modelos de Furnas e Andreasen convergem para uma única equação, Equação 3, onde todos os parâmetros já foram apresentados. (VANDERLEI,2004)

Normalmente conhecida como modelo de Alfred, esta é um aperfeiçoamento dos modelos anteriores e mostra que, na realidade, os modelos de Furnas e de Andreasen podem ser visualizados como duas formas distintas de se expressar a mesma coisa. Além de introduzir o conceito do tamanho mínimo de partículas ( $D_s$ ) na equação de Andreasen,

envolve também uma revisão matemática do modelo de Furnas. (CASTRO e PANDOLFELLI, 2009)

$$CPFT (\%) = 100 \left( \frac{D_p^q - D_s^q}{D_L^q - D_s^q} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: CPFT = porcentagem acumulada de partículas menores que  $D_p$ ;

$D_p$  = diâmetro da partícula em questão em mm;

$D_L$  = diâmetro da maior partícula em mm;

$^q$  = coeficiente de empacotamento.

A representação gráfica dos resultados obtidos através do modelo de Alfred é apresentada no Gráfico 3, ficando clara a melhor distribuição granulométrica obtida.

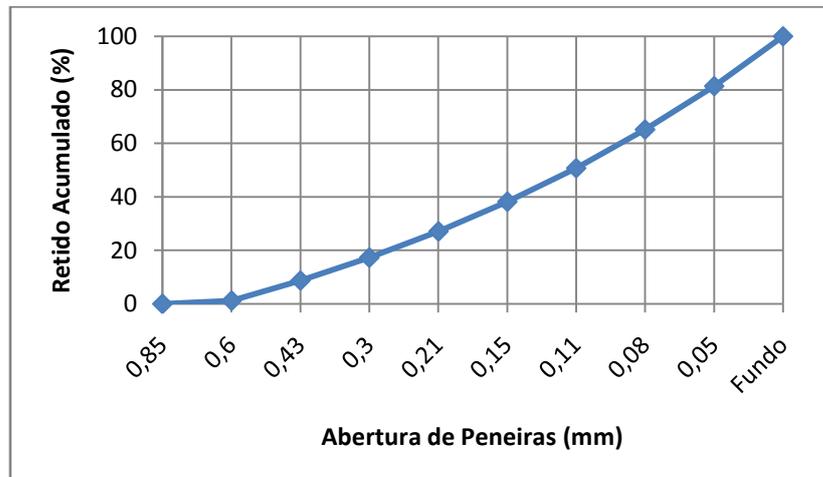


Gráfico 3 - Distribuição granulométrica obtida através do modelo de Alfred  
Fonte: Henche e Mazer (2010)

## 2.5 EFEITOS DA TEMPERATURA NO CONCRETO DE PÓS REATIVOS

Para Neville (1982), a cura do concreto é conhecida como o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto. A cura mantém o

concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante.

A elevação da temperatura acelera as reações químicas de hidratação do cimento, favorecendo as propriedades mecânicas iniciais do concreto convencional. Neville (1997), explica que temperaturas mais altas durante e depois do contato inicial entre o cimento e a água, fazem com que a estrutura total da pasta se defina mais cedo. No entanto, embora aumentem as resistências destes concretos logo nas primeiras idades, observa-se, uma redução na resistência após os sete dias de idade, comparativamente à cura normal. Isso porque a hidratação inicial rápida aparentemente desenvolve uma estrutura fisicamente mais pobre, com aumento da porosidade, de modo que parte destes poros permanecerá não preenchida.

Enquanto em um concreto convencional e até de alto desempenho os tratamentos térmicos reduzem a resistência final à compressão, nos concretos de pós reativos estes tratamentos tem efeito vantajoso no ganho de resistência mecânica, pois conduz uma melhor cristalização dos hidratos e ativação da reação pozolânica da sílica ativa (NEVILLE, 1997)

Conforme citado no estudo feito por Biz (2001), o tratamento térmico tem por finalidade ativar novas reações pozolânicas na matriz, aumentando com isso, a quantidade de CSH presente na estrutura da interface. Esse aumento na quantidade de CSH tende a aumentar a resistência da matriz, em vista da diminuição da porosidade e do consumo de materiais mais fracos e inertes, como o hidróxido de cálcio ( $\text{CaOH}_2$ ), por exemplo.

A temperatura 90°C é sugerida em vários trabalhos para a obtenção de maiores resistências já que nessas condições o quartzo, geralmente usado, é estimulado e apresenta propriedades pozolânicas.

Estudos feitos em 1996, indicam aumento na quantidade e no comprimento do CSH, atribuídos ao progresso da hidratação do cimento provocado pelo aumento da temperatura juntamente com a ação pozolânica da sílica ativa e do pó de quartzo. A atividade pozolânica da sílica ativa é maior, podendo variar de 10% a 75% quando submetidas a temperaturas de 90°C a 250°C. Análises microscópicas indicaram mudanças na estrutura da zona de transição com o aparecimento de CSH em maior quantidade. A interface apresenta menor porosidade e espessura. (BIZ, 2001)

Se o tratamento térmico for acompanhado de pressão confinante, soma-se o efeito da redução da porosidade, proporcionando maior resistência à compressão.

Para temperaturas de 20°C as atividades pozolânicas são baixas, melhoradas um pouco com a presença de sílica, e o tamanho de cristais de C-S-H são pequenos. A atividade pozolânica do pó de quartzo e da sílica ativa, bem como o progresso na hidratação do cimento é sensivelmente estimulada com tratamento térmico a 90°C. (BIZ, 2001)

## **2.6 MATERIAIS PULVERULENTOS**

### **2.6.1 Mica**

Mica é uma denominação genérica para um grupo de minerais constituídos por silicato de alumínio e potássio hidratado que se diferem relativamente na sua composição química. Como exemplos dessas várias composições de mica têm-se a biotita, lepidolita, muscovita, flogopita e a vermiculita. A palavra "mica" pensa-se ser derivada do latim palavra "micare", significando brilho, em referência à aparência brilhante deste mineral. (QUIMILUX)

O grupo de minerais mica inclui diversos minerais proximamente relacionados, do grupo dos filossilicatos, que têm a divisão basal altamente perfeita. Todos são cristais monoclinicos, com tendência para pseudo-hexagonal, e são similares na composição química. A divisão altamente perfeita, que é a característica mais proeminente da mica, é explicada pela disposição hexagonal de seus átomos ao longo de planos sucessivamente paralelos. (UBM – União Brasileira de Mineração)

O valor da mica deve-se às suas propriedades físicas e sua inércia química. A mica tem um baixo coeficiente de expansão, boa resistividade elétrica, uma uniforme constante dielétrica e estabilidade de capacitância. (QUIMILUX)

Além da mica em pó produzida pelo processo a seco, existe também a moagem por via úmida que produz um produto mais puro e de maior valor agregado. Micas moídas a seco são usadas como uma fina camada em superfícies de borracha para reduzir a pegajosidade e colagem das superfícies. Em tintas de exterior a mica em pó produzida pelo processo a seco comunica corpo, reduz escorrimento e melhora o intemperismo. (QUIMILUX)

Lâminas de mica prensadas são frequentemente usadas no lugar do vidro em estufas. Devido à sua resistência ao calor, a mica é também utilizada no lugar do vidro em janelas para fogões e aquecedores a querosene.

A adição de mica em seladores para superfícies porosas (como dry wall, alvenaria e blocos de concreto) reduz enormemente a penetração e melhora a porosidade do acabamento. (UBM – União Brasileira de Mineração)

A inclusão de mica em tintas de demarcação viária melhora a durabilidade e adesão reduzindo escamação e trincamento. As micas também são usadas em mástiques, lubrificantes, graxas, revestimento para eletrodos de solda, componentes eletrônicos e veículo para os extintores de incêndio de pó seco.

Micas moídas a úmido custam o dobro da versão a seco e encontram uso em tintas e borrachas, assim como em plásticos, lubrificantes e também para recobrir papel de parede porque comunica um lustro sedoso muito atraente.

## **2.6.2 Carbonato Extra Leve**

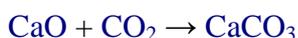
O Carbonato de Cálcio tipo extra leve tem alta pureza e se apresenta em forma de pó branco, fino, inodoro, insolúvel, leve, poroso e de alta absorção à óleo. (NATURAL MINERAIS) Suas características físico-químicas, associadas a um controle específico para cada segmento permitem sua aplicação nas indústrias de tintas, plásticos, farmacêuticas, alimentícias, papel, forros, entre outras. É obtido pela reação de uma solução de Cloreto de Cálcio com uma solução de Carbonato de Sódio, ou pela passagem do Dióxido de Carbono através de uma suspensão de leite de cal. Se apresenta nos tipos médio, leve e extra leve, diferenciado apenas pela granulometria, sendo o médio o mais grosso e o extra leve o mais fino. Sua fórmula geral é  $\text{CaCO}_3$ . Sofre oxidação por ultra-violeta e reação com a infiltração de chuva ácida transformando-se em Sulfato de Cálcio.

É muito utilizado em todos os sistemas de tintas, com exceção dos sistemas bicomponentes que utilizam ácidos para polimerização e cura. Possui alto poder de cobertura, porém por ser muito poroso e ter alta absorção reduz a resistência a lavabilidade (mecânica) e fosqueia a tinta. É empregado também na fabricação de plásticos, borrachas, como veículo de

produtos, na obtenção de cálcio e dióxido de carbono, na neutralização de ácidos, correção de solos, etc. (MINERIOS ALFA).

### 2.6.3 Carbonato de Cálcio (Calcita)

O Carbonato de Cálcio, ou Calcita é uma substância química de fórmula  $\text{CaCO}_3$ . É o principal componente de rochas como os calcários. Tem características alcalinas, ou seja, é um sal com características básicas que aumenta pH de uma solução aquosa, e é resultado da reação do óxido de cálcio ( cal virgem ) com dióxido de carbono.



A calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) é o principal constituinte mineralógico dos calcários e mármore com elevada pureza. O calcário encontrado extensivamente em todos os continentes é extraído de pedreiras ou depósitos que variam em idade, desde o Pré-Cambriano até o Holoceno. As reservas de rochas carbonatadas são grandes e intermináveis. A sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos que 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo. Nas atividades diárias, é comum o uso de produtos contendo Carbonato de Cálcio nas mais variadas aplicações, tais como: na fabricação de materiais de construção civil, produção de alimentos, purificação do ar, tratamento de esgotos, utilizado no refino do açúcar, fabricação de vidros, aço, papéis, plásticos, tintas, cerâmica e tantos outros. (CETEM/2008).

O Carbonato de Cálcio está sempre presente, desempenhando um papel invisível na maioria dos setores da indústria moderna. Assim, o calcário, notadamente o calcítico, é de longe a rocha carbonatada mais comum, seguida do dolomito e do mármore, este um produto metamórfico. Essas rochas carbonatadas são também as mais comercializadas em todo mundo. (CETEM/2008).

Na classificação mineralógica das rochas calcárias, deve ser considerada a variação nas proporções de calcita, dolomita, bem como dos componentes não-carbonatados. Tal procedimento é útil na descrição da rocha, especialmente quando combinado com os parâmetros de textura, entretanto não se adapta muito bem quando são abordadas aplicações industriais desse bem mineral. (CETEM/2008).

Embora calcita e dolomita possam ser igualmente utilizadas em várias aplicações, em certos casos, as suas características químicas são essenciais. (CETEM/2008).

A composição química da rocha é mais importante que a mineralógica e ainda devem ser especificados os teores de:  $\text{CaCO}_3$  (ou  $\text{CaO}$ ),  $\text{MgCO}_3$  (ou  $\text{MgO}$ ), afora a quantidade máxima de impurezas que pode ser tolerada. (CETEM/2008).

Pesquisas em andamento sobre o desenvolvimento de novos produtos destacam o Carbonato de Cálcio moído com partículas na granulometria nanométrica, com a finalidade de conceder performance mais elevada aos compostos nos quais esse produto é aplicado. (CETEM/2008).

### 3 METODOLOGIA – MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresentaremos a metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa, onde descreveremos os materiais utilizados no concreto de pós reativos, traço utilizado, procedimentos de mistura dos insumos, moldagem dos corpos de prova, adensamento e desforma dos mesmos e os ensaios realizados.

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Cimento

O cimento Portland utilizado para a confecção do Concreto de Pós Reativos apresentado neste trabalho, é o CPV-ARI que atinge altas resistências já nos seus primeiros dias de idade. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido 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. O gráfico 4 mostra a evolução média de resistência à compressão do cimento CPV comparado aos outros tipos de cimento.

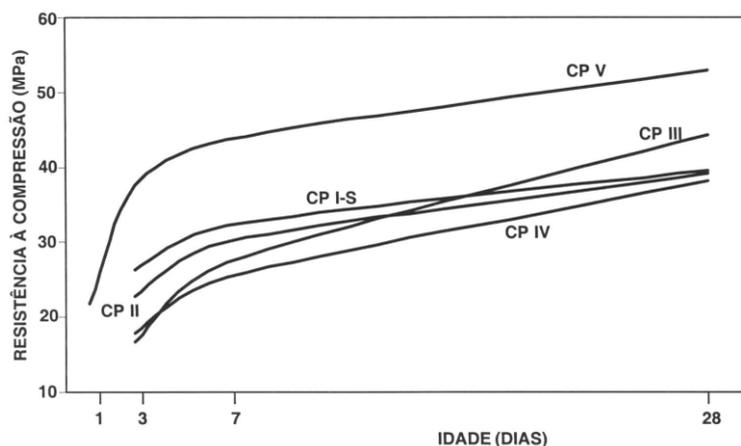


Gráfico 4 - Evolução á compressão dos cimentos Portland  
Fonte: ABCP (1996)

De acordo com dados fornecidos pelo fabricante, o CPV ARI possui massa específica de 3,12 g/cm<sup>3</sup>, superfície específica de 4.423 cm<sup>2</sup>/g e sua resistência à compressão é de 48,7 MPa aos 28 dias. O desempenho e características do CPV ARI são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaio físicos dos cimentos CII-32 e o CPV-ARI

Ensaio Físicos	Unidade	Valores	Valores	Especificações
		CP V-ARI	CII-32	ABNT
Blaine	cm <sup>2</sup> /g	4.347	3.792	NBR NM 76
Início de Pega	H:min	02:12	03:06	NBR NM 65
Fim da pega	H:min	03:02	03:54	NBR NM 65
Finura na peneira # 200	%	0,17	1,89	NBR 11579
Finura na peneira # 325	%	1,25	8,78	NBR 9202
Consistência normal	%	29,11	27,79	NBR NM 43
Resistência à compressão - 1 dia	MPa	23,50	13,10	NBR 7215
Resistência à compressão - 7 dias	MPa	35,70	25,30	NBR 7215
Resistência à compressão - 14 dias	MPa	41,70	32,00	NBR 7215
Resistência à compressão - 28 dias	MPa	50,50	41,00	NBR 7215

Fonte: Cimentos ITAMBÉ (2011)

### 3.1.2 Agregado miúdo

Foi utilizada para a confecção do CPR, areia de constituição natural, quartzosa, originada das cavas do Rio Iguaçu. Foram feitos peneiramentos com o auxílio de um peneirador mecânico, como mostra a figura 3, utilizando-se o material resultante da série de peneiras ABNT, - NBR 5734:1989, sendo elas: 1,20mm, 0,60mm, 0,30mm, 0,15mm e 0,075mm.



Figura 3 - Peneirador mecânico  
Fonte: As Autoras (2011).

### 3.1.3 Sílica

Neste trabalho foi utilizada a sílica ativa do tipo não densificada como adição mineral no concreto. A sílica ativa é um pó extremamente fino pulverizado decorrente do processo de fabricação do silício metálico ou ferro silício, que quando adicionado ao concreto ou argamassa lhe confere melhora de desempenho de algumas características no estado fresco e endurecido. Portanto é um produto de origem metalúrgica, o que lhe confere maior estabilidade quanto a sua composição química e física. O alto teor de  $\text{SiO}_2$  no formato amorfo (não cristalino), aliado a uma elevada finura, proporciona altíssima reatividade com os produtos decorrentes da hidratação cimento, conferindo melhor desempenho em concretos e argamassa. (TECNOSIL)

A sílica consegue este desempenho porque altera as características do concreto devido a dois fatores:

- ação pozolânica: a sílica ativa reage com o hidróxido de Cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , cristal fraco e solúvel formado no processo de hidratação do cimento, transformando-o em um cristal resistente, silicato de cálcio hidratado (C-S-H);

- efeito de micro filler: devido à elevada finura, a Sílica Ativa refina os poros do concreto e completa os vazios, melhorando as propriedades tanto no estado fresco quanto endurecido. (TECNOSIL)

A Sílica Ativa possui diâmetro médio da ordem de 0,8 µm e área superficial específica de 2.222 m<sup>2</sup>/kg. (DAMAS e SOARES, 2011). As características físicas da sílica estão descritas na tabela 2:

Tabela 2 - Características físicas e químicas da Sílica

<b>Características Físicas e Químicas da Sílica</b>	
Massa específica	2.220 kg/m <sup>3</sup>
Teor de SiO <sub>2</sub>	>90%
Superfície específica (B.E.T.)	~19.000 m <sup>2</sup> /kg
Formato da partícula	esférico
Diâmetro médio da partícula	0,20 µm
Umidade (%)	1,2
<b>Massa Unitária</b>	
Não densificada	<350 kg/m <sup>3</sup>
Densificada	>350 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Tecnosil (2011)

### 3.1.4 Aditivo superplastificante

Devido à baixa relação água/aglomerante característica do CPR, o uso de aditivos de 3ª geração é fundamental para dar a trabalhabilidade adequada à mistura. Por isso, foi usado na pesquisa o aditivo superplastificante *MC Power Flow -1160*, cujos agentes dispersadores são à base de policarboxilato. Baseando-se em estudos anteriores, sua proporção foi fixada em 4% com relação à massa de cimento.

### 3.1.5 Água de amassamento

Para a moldagem do CPR, foi utilizada água potável proveniente da rede de abastecimento de Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, com temperatura entre 6°C e 10°C.

### 3.1.6 Material Pulvurulento.

Como pós-reativos para o desenvolvimento do trabalho, foram confeccionados concretos utilizando mica, carbonato extra leve e calcita (já descritos no capítulo 2), em substituição total ao pó de quartzo tradicionalmente utilizado.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Traço utilizado

Utilizando como base o trabalho de Henche e Alessi (2011), foi adotado o fator  $a/c=0,24$  e a dosagem dos materiais descrita na tabela 3, para a execução de 7 corpos de prova para cada idade, temperatura de cura e material pulverulento desenvolvidos neste estudo:

Tabela 3 - Relação de insumos utilizados no traço

Insumo	Quantidade
Cimento	1,0 kg
Sílica Ativa	0,25kg
Areia 1,20mm	0,34kg
Areia 0,60mm	0,26kg
Areia 0,30mm	0,20kg
Areia 0,15mm	0,40kg
Areia 0,075mm	0,30kg
Material Pulvurulento	0,30kg
Água	0,24kg
Aditivo	0,04kg

Fonte: As Autoras (2011)

Na tabela 4 apresenta-se o traço de referência desenvolvido por Henche e Alessi (2011), utilizado como base para o estudo do concreto de pós reativos neste trabalho.

Tabela 4 – Dosagem utilizada para estudo do concreto de pós reativos – traço

Cimento	Areia	Pó de Quartzo	Sílica Ativa	Consumo de Cimento
				por m <sup>3</sup>
1	1,475	0,306	0,250	734

Fonte: Henche e Alessi (2011).

Tabela 5 – Temperaturas e tempo de cura dos corpos de prova

Material	Temperatura de Cura (°C)	Quantidade de Corpos de Prova	Idade (dias)
Carbonato Extra Leve	20°	3	7
	20°	3	28
	90°	4	7
	90°	4	28
Carbonato de Cálcio (Calcita)	20°	3	7
	20°	3	28
	90°	4	7
	90°	4	28
Mica	20°	3	7
	20°	3	28
	90°	4	7
	90°	4	28

Fonte: As Autoras (2011)

### 3.2.2 Procedimento de mistura

Após a separação e pesagem de todos os insumos e o aditivo diluído em toda a água de amassamento, foi feita uma pré-mistura (empacotamento) de todos os materiais secos, os quais eram colocados em um recipiente plástico e agitados manualmente até que se alcançasse uma boa homogeneidade. Em seguida, foram colocados os materiais no misturador mecânico (figura 4) e efetuada a mistura mecânica dos mesmos (figura 5), atingindo a consistência desejada através da sequência detalhada abaixo e executada da mesma forma para os três concretos em análise:

1. Após o umedecimento da cuba do misturador mecânico, foi colocado 20% da mistura de materiais secos e adicionada em pequenas doses cerca de 50% da água de amassamento;
2. A mistura foi batida por aproximadamente 3 minutos na velocidade 1;

3. Em seguida, foi incorporado gradualmente o restante da mistura de materiais secos, num intervalo aproximado de 2 minutos;

4. Adicionado mais 25% da água de amassamento e misturado por 3 minutos, sempre na velocidade 1;

5. Acrescentado os 25% restantes da água e misturado por 3 minutos na velocidade 2 do misturador mecânico.

A razão para que o aditivo seja adicionado aos poucos no misturador mecânico é para que ele possa agir já na primeira adição dos materiais secos e então facilitar a mistura do restante do material.



Figura 4 – Misturador Mecânico - laboratório UTFPR  
Fonte: As Autoras (2011)



Figura - 5 Mistura mecânica dos materiais  
Fonte: As Autoras (2011)

### 3.2.3 Moldagem e adensamento dos corpos de prova

Moldou-se para cada tipo de concreto 14 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 50x100mm (figura 6), a serem rompidos aos 7 e 28 dias de idade, totalizando 42 corpos de provas. Foi utilizado cera vegetal como desmoldante, pois o óleo vegetal comumente usado impermeabiliza a superfície dos corpos de prova devido a sua volatilidade, impossibilitando o correto desempenho do procedimento de cura térmica submersa.

Concluída a execução do concreto, iniciaram-se os procedimentos para o adensamento e montagem dos corpos de prova, seguindo os passos descritos abaixo:

1. É colocada uma quantia de CPR que atinja um terço da fôrma metálica;
2. São realizadas 20 “quedas” com os corpos de prova, na flow table, para adensá-los melhor;
3. Coloca-se a segunda camada de CPR, cobrindo mais um terço da fôrma metálica, totalizando dois terços;
4. São dadas mais 20 “quedas” com os corpos de prova;
5. É adicionada a última camada de CPR;
6. São dadas mais 20 “quedas” com os corpos de prova;
7. É feito então o arrasamento do corpo de prova, onde o excesso de CPR é retirado do corpo de prova.

Devido à inexistência no laboratório de uma retífica de topo dos corpos de prova, é colocada então uma placa de acrílico de 2,0mm de espessura e dimensão de 10x10 cm, sobre os corpos de prova até serem desformados e colocados em cura úmida, a fim de nivelar a superfície e evitar que a água de amassamento evapore muito rapidamente (figura 7).



Figura 6 – Moldes Cilíndricos 5x10cm  
Fonte: As Autoras

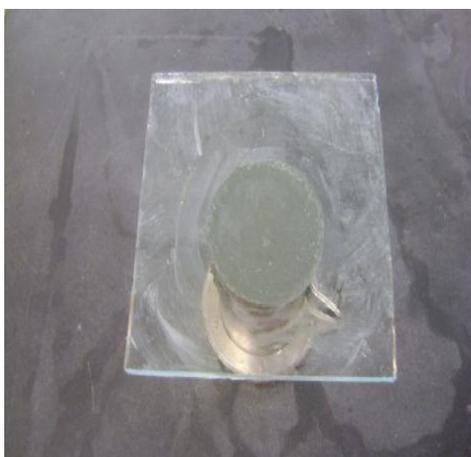


Figura 7 - Placa de acrílico sobre o corpo de prova  
Fonte: Henche e Alessi (2011).

### 3.2.4 Cura dos corpos de prova

Após 24 horas da moldagem de cada concreto, os corpos de prova foram desformados e submetidos à cura térmica submersa, no equipamento de imersão disponível na UTFPR (figura 8). Com o objetivo de analisar as resistências à compressão nos concretos curados com diferentes temperaturas, parte dos corpos de prova foi submerso em água a uma temperatura de 90°C e a outra parte a 20°C, onde permaneciam até a data da ruptura.



Figura 8 - Equipamento de imersão, UTFPR  
Fonte: Henche e Alessi (2011).

### **3.2.5 Ensaios realizados**

Foram efetuados ensaios de absorção e resistência à compressão axial, de acordo com as normas NBR 5739/94 (Ensaio à compressão de corpos cilíndricos de concreto – Método de Ensaio) e NBR 7222/1994 (Determinação da resistência e tração por compressão diametral de corpos de prova).

#### **3.2.5.1 Ensaio de resistência à Compressão Axial**

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados com 14 corpos de prova de cada tipo de concreto e com 7 e 28 dias de idade. Para a análise dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial, foi adotada a média aritmética dos valores obtidos para cada idade. A figura 9 mostra a prensa – equipamento utilizado para realizar o ensaio de resistência à compressão, e a figura 10 mostra um corpo de prova após sua ruptura.



Figura 9 - Prensa computadorizada -UTFPR  
Fonte: Damas e Soares (2011)



Figura 10 - Corpo de prova rompido  
Fonte: As autoras

### 3.2.5.2 Ensaio de Absorção de Água por Imersão

Para a realização do Ensaio de Absorção de Água por Imersão, foram submersos por um período de 3 dias, 4 dos 42 corpos de prova existentes, sendo 2 de Carbonato extra Leve, 1 de Carbonato de Cálcio e 1 de Mica.

## 4.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo serão apresentadas as análises e resultados dos ensaios de compressão axial realizados em corpos de prova, de concretos de pós-reativos.

Para os ensaios de compressão axial foram analisados: o comportamento da resistência à compressão dos corpos de prova em relação ao tempo, influência de diferentes pós no concreto e as deformações específicas na compressão.

### 4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na tabela 6 constam os resultados obtidos com o ensaio de compressão axial, dos corpos de prova aos 7 dias, curados em ambiente de temperatura de 20°C, submerso.

Tabela 6-Resistência a compressão do CPR aos 7 dias em temperatura de cura de 20° C

<b>Material</b>	<b>Temperatura de cura</b>	<b>Idade</b>	<b>Resistência a compressão (MPa)</b>	<b>Média dos resultados</b>
Carbonato extra leve	20° C	7 Dias	57,40	56,40
			66,20	
			45,60	
Calcita	20° C	7 Dias	77,70	58,33
			60,30	
			37,00	
Mica	20° C	7 Dias	55,90	52,26
			50,60	
			50,60	

Fonte: As autoras

Na tabela 7 constam os resultados obtidos com o ensaio de compressão axial, dos corpos de prova aos 7 dias, curados em ambiente de temperatura de 90°C, submerso.

Tabela 7-Resistência a compressão do CPR aos 7 dias em temperatura de cura de 90° C

Material	Temperatura de cura	Idade	Resistência a compressão (MPa)	Média dos resultados
Carbonato extra leve	90°C	7 Dias	72,00	60,50
			49,20	
Calcita	90°C	7 Dias	70,00	57,63
			49,20	
			53,70	
Mica	90° C	7 Dias	53,10	52,20
			51,30	

Fonte: As autoras

No gráfico 5 mostra-se a comparação das resistências dos corpos de prova ambos aos 7 dias, mas com temperaturas de cura diferentes.

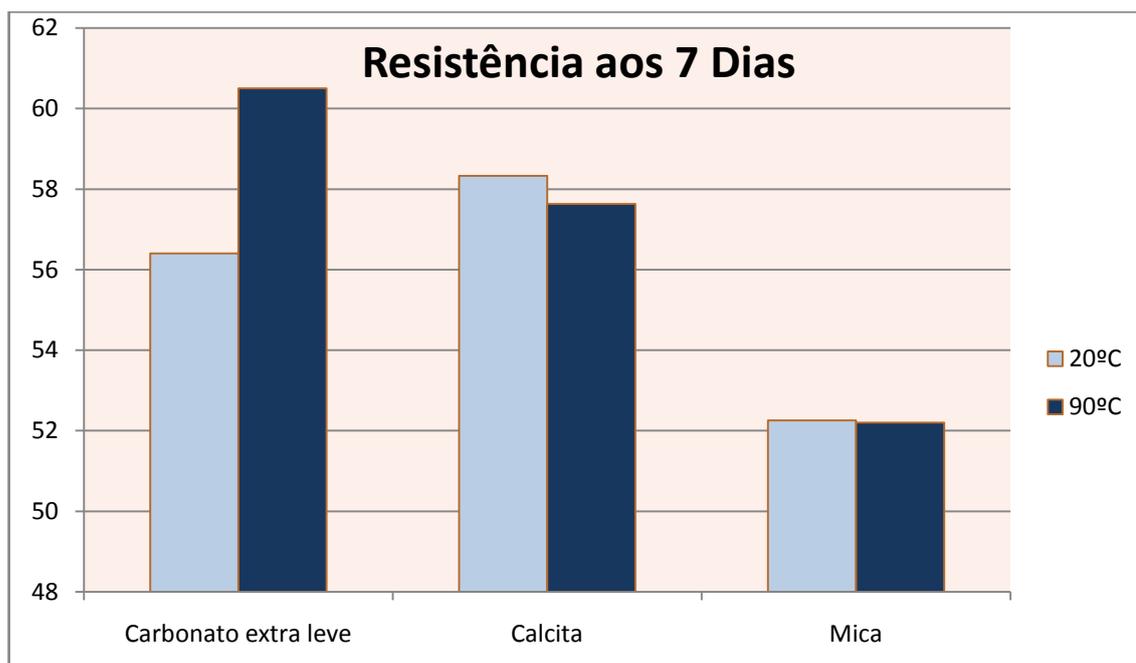


Gráfico 5 - Resistência á compressão axial aos 7 dias e temperatura de cura 20°C e 90° C

Fonte: As Autoras

Analisando o gráfico 5, é possível verificar que aos 7 dias de idade os corpos de prova de Calcita, mesmo com temperaturas de cura diferentes, obtiveram resultados de resistência próximos e maior resistência com cura de 20° C, se comparados aos resultados de Carbonato e Mica nesta mesma temperatura.

Pode-se observar também que os corpos de prova de Carbonato Extra leve com cura aos 90° C, obtiveram melhores resultados na resistência.

Os corpos de prova de Mica, no entanto obtiveram baixas resistências tanto em cura à 20° C quanto à 90°C. As resistências obtidas com este material foram semelhantes em ambas as temperaturas.

Na tabela 8 constam os resultados obtidos com o ensaio de compressão axial, dos corpos de prova aos 28 dias, curados em ambiente de temperatura de 20°C.

Tabela 8 - Resistência à compressão do CPR aos 28 dias e temperatura de cura de 20° C

<b>Material</b>	<b>Temperatura de cura</b>	<b>Idade</b>	<b>Resistência a compressão (MPa)</b>	<b>Média dos resultados</b>
Carbonato extra leve	20°C	28 dias	66,90	74,71
			103,7	
			57,10	
			55,70	
			69,80	
			95,10	
Calcita	20°C	28 dias	83,50	67,50
			50,60	
Mica	20°C	28 dias	44,80	50,86
			62,40	
			45,40	

Fonte: As autoras

Na tabela 9 constam os resultados obtidos com o ensaio de compressão axial, dos corpos de prova aos 28 dias, curados em ambiente de temperatura de 90°C.

Tabela 9 - Resistência à compressão do CPR aos 28 dias e temperatura de cura de 90°C

<b>Material</b>	<b>Temperatura de cura</b>	<b>Idade</b>	<b>Resistência a compressão (MPa)</b>	<b>Média dos resultados</b>
Carbonato extra leve	90°C	28 dias	66,60	89,93
			98,50	
			104,70	
Calcita	90°C	28 dias	74,00	57,74
			51,80	
			47,40	
Mica	90°C	28 dias	75,80	70,00
			64,20	

Fonte: As autoras

No gráfico 6 mostra-se a comparação das resistências dos corpos de prova aos 28 dias, com temperaturas de cura diferentes.

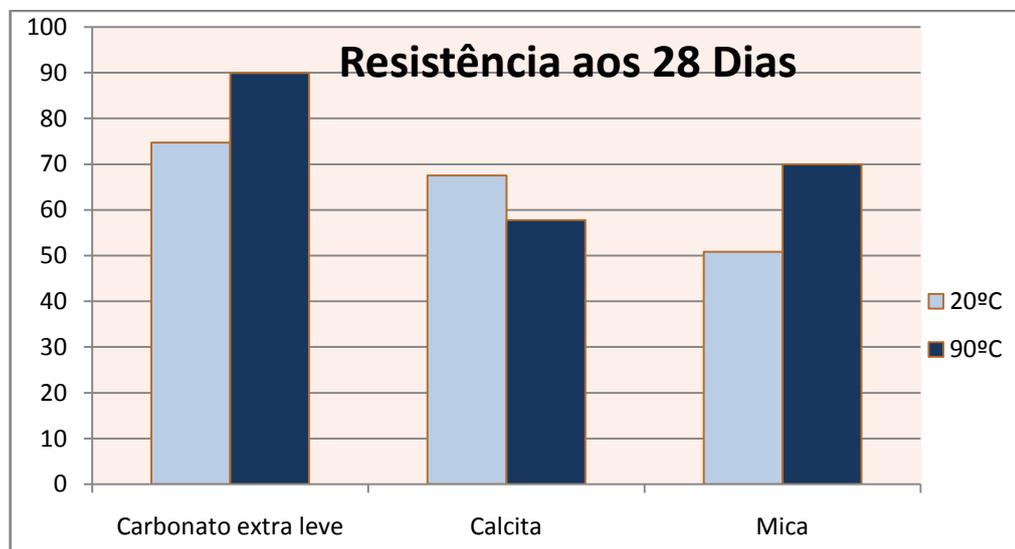


Gráfico 6 - Resistência a compressão axial aos 28 dias com temperaturas de cura de 20°C e 90°C.  
Fonte: As autoras

Analisando o gráfico 6, é possível verificar que aos 28 dias de idade os corpos de prova de Carbonato extra leve, obtiveram os melhores resultados em ambas as temperaturas de cura.

Calcita apresentou melhores resultados a temperatura de cura de 20°C, enquanto os corpos de prova de mica obtiveram melhores resultados, com cura á 90°C.

Os corpos de prova de carbonato extra leve, apresentaram melhores resultados, pois a superfície estava mais regular que a dos demais corpos de prova e também por apresentarem menos vazios.

#### 4.3 COMPARAÇÕES DE RESULTADOS.

Abaixo será feita uma comparação entre os melhores resultados aos 7 e 28 dias e temperaturas de cura de 20°C e 90°C obtidos neste trabalho, com os resultados obtidos no

mesmo tempo e temperaturas em estudo apresentado por Damas e Soares em 2011, com CPR executado com pó de quartzo .

Na tabela 10 constam os resultados obtidos com CPR de Pó de Quartzo, por Damas e Soares (2011) com 7 e 28 dias de idade e curados em temperaturas de 20°C e 90°C.

Tabela 10-Resistência a compressão do CPR aos 7 e 28 dias e temperatura de cura de 20°C e 90°C.

Material	Temperatura de cura	Idade	Resistência a compressão (MPa)
Pó de Quartzo	20°C	7 dias	98,00
	90°C	7 dias	109,90
	20°C	28 dias	112,80
	90°C	28 dias	61,00

Fonte: Damas e Soares (2011)

No gráfico 7 mostra-se a comparação das resistências dos corpos de prova ambos aos 28 dias, com temperaturas de cura diferentes.

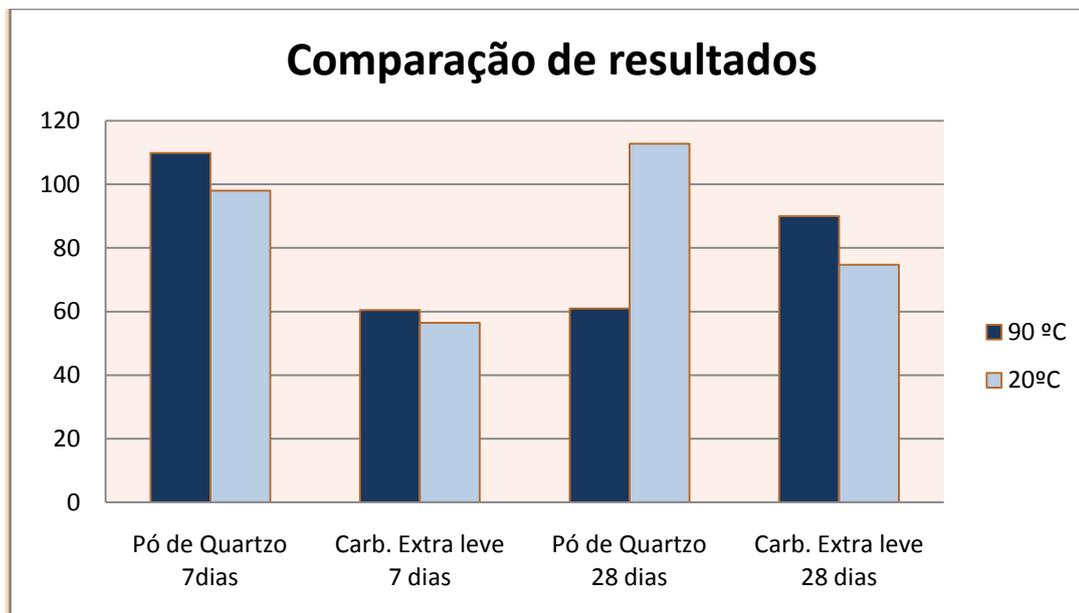


Gráfico 7 - Resistência a compressão axial de Pó de quartzo e Carbonato extra leve aos 7 e 28 dias e temperatura de cura de 20°C e 90°C.

Fonte: As autoras

Analisando o gráfico 7 e comparando-se os resultados obtidos no mesmo tempo e temperatura de cura, é possível observar que os corpos de prova de Carbonato extra leve apresentaram 42% menos resistência aos 7 dias de cura e temperatura de cura de 20°C e 45% menos resistência aos 7 dias de cura, com temperatura de cura de 90°C.

Aos 28 dias observa-se que o Carbonato Extra leve com temperatura de cura de 20°C apresentou 34% menos resistência que os corpos de prova de Pó de quartzo e aos 90°C apresentou um aumento de 32% na resistência.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi analisar a influência das substâncias Mica, Carbonato extra leve e Calcita na resistência à compressão axial do CPR e também a influência das temperaturas de cura em ambiente de 20°C e 90°C em corpos de prova com idades de 7 e 28 dias.

Os resultados do ensaio de absorção por imersão apresentaram uma excelente média de absorção (0,4%), bem inferior a de um concreto convencional que varia de 5% a 10% de absorção. Isso demonstra que este concreto garante estruturas mais resistentes aos ataques do meio externo e com maior vida útil, além da pouca necessidade de manutenções, oferecendo conseqüentemente um ótimo custo-benefício.

O concreto contendo Calcita, apresentou uma perda de resistência na temperatura de cura à 90°C, tanto aos 7 dias quanto aos 28 dias. Isso significa que este material tende a não suportar elevadas temperaturas, não sendo assim indicado para tratamentos térmicos e conseqüentemente para o uso em CPR.

Com o estudo apresentado neste trabalho, é possível concluir que a Mica não é um material adequado para a confecção de CPR, pois apresentou resultados muito baixos aos 7 dias mesmo com o aumento da temperatura de cura de 20°C para 90°C.

Aos 7 e 28 dias os melhores resultados foram obtidos com o Carbonato extra leve, com cura a 90°C. Porém, este material poderá causar eflorescência no concreto com o passar do tempo.

Na comparação com o estudo de Damas e Soares (2011), pode-se concluir que o Pó de Quartzito obteve resultados superiores aos do Carbonato Extra leve,

Sendo assim, chegamos a conclusão de que apesar dos bons resultados e das altas resistências à compressão obtidas, os materiais utilizados neste trabalho ainda não são recomendados para a confecção de CPR, pois as resistências alcançadas foram inferiores a 150 MPa, não se classificando com isso como um CPR.

Entretanto, mesmo apresentando irregularidades na superfície dos corpos de prova, a Calcita obteve bons resultados e poderá ser melhor analisada, juntamente com o Carbonato Extra Leve. Estas substâncias mostraram possuir potencial para o uso em CPR, através de novos estudos com aperfeiçoamento das técnicas utilizadas.

## **5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Analisar os mesmos materiais utilizados neste trabalho, porém com diferentes dias e/ou temperaturas de cura;
- Verificar a viabilidade da utilização de outros materiais finos na fabricação do CPR;
- Analisar a cura térmica na confecção de CPR com Calcita;

## 6 REFERÊNCIAS

BIZ, Carlos Eduardo; **Concreto de Pós Reativos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

CASTRO A. L. de; PANDOLFELLI V. C.. **Revisão: conceito de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. Cerâmica N°. 55. pp. 18 – 32, 2009.

CETEM; SAMPAIO, João A. ; ALMEIDA, Salvador L. M. **Calcário e Dolomito**. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/16-agrominerais-calcario-dolomito.pdf>. Acessado em Junho de 2011.

DAMAS, Giseli; SOARES, Talita **Análise da Influência da Temperatura de cura na Resistência a Compressão axial nos Concretos de Pós Reativos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), UTFPR. Curitiba, 2011.

**Geração Ultra resistente**. Revista Techné - Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/149/artigo150951-2.asp>. Acessado em Junho de 2011.

HENCHE, Diego; ALESSI ,Ericson **Concreto de Pós Reativos: Estudo de Dosagem e Propriedade**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), UTFPR. Curitiba, 2011.

HENCHE, Diego.; MAZER, W. **Efeito da Distribuição Granulométrica Sobre o Empacotamento de Partículas e Sob a Trabalhabilidade do Concreto de Pós-Reativos**. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. Curitiba: Ibracon, 2010. 16p.

IBRACON- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO – **Estudo da Dosagem do concreto de Alto Desempenho- Comparativo de Custos** – Artigo de 43º congresso Brasileiro de Concreto. 2001.

ITAMBÉ, Cimento; **Concreto de Alto desempenho já é passado**. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/concreto-de-alto-desempenho-ja-e-passado>. Acessado em Agosto 2011.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 667 p, 2008.

MINÉRIOS ALFA. **Carbonato de Cálcio precipitado**. Disponível em: <http://minerosalfa.com/59.html> Acessado em Junho de 2011.

NATURAL MINERAIS. **Carbonato de Cálcio precipitado**. Disponível em: <http://www.naturalminerais.com.br/carbonato-de-calcio-precipitado-ou-sintetico.html> Acessado em Junho de 2011.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do concreto**. Ed. Pini, 1ª Edição, São Paulo, 1982.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do concreto**. Ed. Pini, 2ª Edição, São Paulo, 1997.

PORTAL DO CONCRETO – **Concreto de Alto Desempenho**. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/desempenho.html>. Acessado em Agosto de 2011.

QUIMILUX - CONSULTORIA TINTAS & POLÍMEROS. **Mica**. Disponível em: <http://www.quimilux.com.br/repre.htm>. Acessado em Agosto de 2011.

REVISTA TECHNÉ; **Concretos de Pós Reativos: uma revolução no conceito do concreto**. - Edição 38 - 1/1/1999. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/38/artigo32152-1.asp>. - Acessado em maio de 2011.

REVISTA TECHNÉ; **Ultrafinos**. Edição 150 – setembro/2009. Disponível em <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/150/artigo150951-1.asp>. Acessado em maio de 2011.

TECNOSIL, **Sílica Ativa**. Disponível em: <http://www.tecnosilbr.com.br/wp-content/uploads/tecnosil-silica-ativa.pdf>. Acessado em Agosto de 2011.

UBM, União Brasileira de Mineração; **Mica**. Disponível em: <http://www.ubmmpl.com.br/pubmmica.html>. Acessado em Agosto de 2011.

VANDERLEI, R. D. **Análise Experimental do Concreto de Pós Reativos: Dosagem e Propriedades Mecânicas**. 196p. Tese (Doutorado) -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.