



**Ministério da Educação  
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins  
Campus Palmas  
Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios**

**MICHAEL VINÍCIUS MARTINS CALDEIRA**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA  
(CAR), UTILIZANDO COMO AGREGADO GRAÚDO RESÍDUOS DE  
GRANITO PRETO (SÃO GABRIEL)**

**Palmas, TO**

**2009**

**MICHAEL VINÍCIUS MARTINS CALDEIRA**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA  
(CAR), UTILIZANDO COMO AGREGADO GRAÚDO RESÍDUOS DE  
GRANITO PRETO (SÃO GABRIEL)**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à Coordenação da Área de Construção Civil como requisito parcial para obtenção da conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas.

Orientador Prof.<sup>a</sup> M.Sc. Adriana S. A. Monteiro

Co-orientador Prof. M.Sc. Thiago Dias

**Palmas, TO**

**2009**

**MICHAEL VINÍCIUS MARTINS CALDEIRA**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA  
(CAR), UTILIZANDO COMO AGREGADO GRAÚDO RESÍDUOS DE  
GRANITO PRETO (SÃO GABRIEL)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como cumprimento às exigências legais do currículo do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios pela Coordenação da Área de Construção Civil do IFTO, Campus Palmas.

Palmas, 11 de Dezembro de 2009.

---

Prof. M. Sc. Adriana S. A. Monteiro  
Supervisor do Trabalho de Conclusão de Curso

---

Prof. Dr. Valentim Capuzzo Neto  
Responsável Técnico

Banca Examinadora:

---

Prof. M.Sc. Adriana S. A. Monteiro  
Presidente e Orientador

---

Prof. M.Sc. Thiago Dias  
Co-Orientador

---

Prof. Dr. Valentim Capuzzo Neto  
Membro de Banca Examinadora

---

Prof. M.Sc. João Evangelista Marques Soares  
Membro de Banca Examinadora

*Dedico este trabalho aos Meus Pais, Raimundo e Ana Cleide,*

*À minha Namorada, Daniela Gutierrez Rodrigues.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Meu Deus agradeço, por ter me agraciado com a oportunidade de estar alcançando essa vitória.

Aos meus pais, Raimundo e Ana Cleide, pelo incentivo e financiamento de um sonho, que se torna realidade com a conclusão deste curso.

A minha orientadora prof<sup>a</sup>. M.Sc. Adriana S. A. Monteiro, pela disponibilidade e dedicação para realização do trabalho. Eu não poderia deixar de agradecer à imensa preocupação pelo desenvolvimento e andamento do projeto.

Ao meu co-orientador prof<sup>o</sup>. M.Sc. Thiago Dias, que me ensinou não apenas literaturas e escrituras, mas que o conhecimento é algo que adquirimos ao longo de um árduo processo de aprendizagem e que *“não tem como levar a vida toda na conversa”*. Essa frase se tornava real toda vez que recebia suas provas, Obrigado!

Ao prof<sup>o</sup> Dr. Valentim Capuzzo que, mas parece ser um amigo, com sua simplicidade e humildade repassa o conhecimento, tendo como características principais a responsabilidade e pontualidade sendo no cenário acadêmico, um exemplo de profissional a ser seguido por todos os outros.

À minha amada, Daniela Gutierrez, pelo amor, compreensão, dedicação e companheirismo, nos momento de alegria e tristeza, estando sempre ao meu lado, no concreto ficando só o cimento, graxa, poeira... Toda suja e com apenas o branco do olho limpo, minha linda abria o sorriso me apoiando e incentivando. Até mesmo nos momentos mais sórdidos possíveis.

Aos meus amigos e companheiros do projeto Concrebol, Ana Meires, Andreia Gonçalves, Helaine, Ricardo Polonial, Nátalia Martins e Wilma Marcondes, que nunca mediram esforços para realização da pesquisa.

Ao estagiário do laboratório de construção civil Edeilson da Costa Gomes, por sempre estar à disposição para ajudar no desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus irmãos, Igor Franklim e Aline Martins, sempre que necessário me ajudaram, e mesmo não sendo instituições filantrópicas não pedem recompensa.

Ao diretor da GURUFER, Élson Vieira Santos que incentiva e apóia a pesquisa tecnológica, pois o CP-V ARI comprado pra fazer os pilares pré-moldados

foram matéria prima essencial para realização desta pesquisa, sem esse material seria quase impossível concluir o projeto.

## **ESTUDO EXPERIMENTAL DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR), UTILIZANDO COMO AGREGADO GRAÚDO RESÍDUOS DE GRANITO PRETO (SÃO GABRIEL)**

Michael Vinícius Martins Caldeira

### **RESUMO**

No concreto convencional a ruptura ocorre geralmente na pasta de cimento, pois a aderência pasta-agregado é muito fraca, já no CAR a ruptura acontece no agregado, pois com adição de sílica e aditivo a zona de transição pasta-agregado fica bastante coesa. Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008), o concreto é definido como sendo de “alta resistência” apenas com base na resistência à compressão a uma dada idade. Com o grande avanço da tecnologia do concreto surgiram os concretos de alta resistência (CAR), cuja característica principal é a elevada resistência à compressão. Sendo uma das propriedades do concreto, mais importante e valorizada pelos engenheiros e projetistas, a resistência à compressão do concreto, é geralmente especificada em projetos de estruturas de concretos. Embora o emprego de CAR em nossa cidade seja ainda limitado na construção civil, no Estado do Tocantins há obras de grande porte que utilizaram concreto de alta resistência (CAR), como: A ponte Fernando Henrique Cardoso construída com CAR de 40 MPa e Ferrovia Norte-Sul em construção com CAR de 75 MPa.

Neste sentido, este trabalho visa contribuir para maior compressão do comportamento do CAR quanto à propriedade mecânica de resistência à compressão, sendo que o concreto foi produzido com agregado graúdo, britados com resíduos de corte, quebra e sobra das chapas de granito preto (São Gabriel) comumente encontrado nos pátios das marmorarias. Com intuito de estar reaproveitando estes resíduos das construtoras e centrais de concreto podem utilizar esse material na produção do CAR, não somente visando a redução de custos, mas também sobre as óticas ambientais e sociais, através da utilização de sistemas de reciclagem e da busca de sustentabilidade dos processos de produção, minimizando os impactos ambientais.

Por fim, o emprego dos materiais utilizados na produção do concreto teve um efeito significativo na resistência à compressão do CAR, chegando a ordem de 90 MPa aos 28 dias.

**Palavras - chave:** Concreto de alta resistência; agregado graúdo; resistência à compressão; MPa; resíduos.

# **EXPERIMENTAL STUDY OF HIGH-STRENGTH CONCRETE (CAR), USING AS AGGREGATE BIG RESIDUE OF BLACK GRANITE (SÃO GABRIEL)**

Michael Vinícius Martins Caldeira

## **ABSTRACT**

In the conventional concrete the rupture usually happens in the cement paste, because the adhesion paste-aggregate is very weak, however in the CAR the rupture happens in the aggregate, because with addition of silica and additive in the transition zone paste-aggregate is enough cohesive. According MEHTA and MONTEIRO (2008), the concrete is defined as “high resistance” only on the basis in the resistance for compressive to a given age. With the great advancement of the concrete technology came the high-strength concrete (CAR), whose main characteristic is the high resistance to compression. Being one of the properties of the concrete most important and valued by engineers and designers, the resistance to compression of concrete, is usually specified in projects of concrete structures. Although the use of CAR in our city is still limited in civil construction, in the State of Tocantins there are large works that use high-strength concrete (CAR), such as: the bridge Fernando Henrique Cardoso built with CAR of 40 MPa and Railway North-South under construction with CAR of 75 MPa.

In this sense, this work aims to contribute to greater compression of CAR conduct on the mechanical properties of resistance to compression, is that the concrete was produced with big aggregate, crushed residue of CUT, break and waste of the black granite plates (São Gabriel) commonly found in the courtyards of the quarries. With the intention to be reusing this residue from the constructions and concrete central can use this material in the CAR production, not only aimed at reducing costs but also on social and environmental optics, through the use of recycling schemes and the search for sustainability of production processes, minimizing the environmental impacts.

Finally, the use of the materials used in concrete production had a significant effect in the resistance to compression of the CAR, reaching around 90 MPa in the first 28 days.

**Key Words:** high-strength concrete; aggregate big; resistance to compression; MPa; residue.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Edifício e-Tower em São Paulo.....	19
Figura 3.1 – Material utilizado na produção do CAR.....	36
Figura 3.2 – Betoneira 145 litros.....	37
Figura 3.3 – Agregado Graúdo (Granito Preto).....	38
Figura 3.4 – Água de Amassamento.....	39
Figura 3.5 – Aditivo Superplastificante.....	39
Figura 3.6 – Agregado Miúdo (Micaxisto).....	40
Figura 3.7 – Concreto no término do processo de produção.....	40
Figura 3.8 – Tronco de cone.....	42
Figura 3.9 – Primeiro passo do ensaio de abatimento do troco de cone.....	43
Figura 3.10 – Segundo passo do ensaio de abatimento do troco de cone.....	43
Figura 3.11 – Terceiro passo do ensaio de abatimento do troco de cone.....	44
Figura 3.12 – Quarto passo do ensaio de abatimento do troco de cone.....	45
Figura 3.13 – Quinto passo do ensaio de abatimento do troco de cone.....	46
Figura 3.14 – Moldagem dos corpos-de-prova.....	46
Figura 3.15 – Preparação dos corpos-de-prova.....	47
Figura 3.16 – Adensamento dos corpos-de-prova.....	47
Figura 3.17 – Corpos-de-prova desmoldados.....	48
Figura 3.18 – Superfície irregular dos corpos-de-prova.....	49
Figura 3.19 – Torneamento dos corpos-de-prova.....	49
Figura 3.20 – Regulador de Velocidade da Prensa EMIC.....	51
Figura 3.21 – Ensaio de Resistência à Compressão.....	51
Figura 3.22 – Gráfico com Resultados de Resistência à Compressão.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição do Cimento de Alta Resistência Inicial.....	20
Tabela 3.1 – Características Físicas e Químicas SILMIX – SÍLICA ATIVA.....	33
Tabela 3.2 – Dados Técnicos GLENIUM 51.....	34
Tabela 3.3 – Características dos Materiais Utilizados na Produção do CAR.....	35
Tabela 3.4 – Quantidade de material utilizando no traço por m <sup>3</sup> .....	36
Tabela 3.5 – Programação da Produção do CAR.....	41
Tabela 3.6 – Programação de Ensaios de Ruptura.....	50
Tabela 3.7 – Resultados de Ruptura dos Corpos-de-prova.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>CAR</b>	CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA
<b>MPa</b>	MEGAPASCAL
<b><math>f_{ck}</math></b>	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO
<b><math>f_c</math></b>	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO
<b>ARI</b>	ALTA RESISTÊNCIA INICIAL
<b>NBR</b>	NORMA BRASILEIRA
<b><math>D_{MÁX}</math></b>	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA
<b>A/C</b>	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO
<b>A/AGLOM</b>	RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTE
<b>ABNT</b>	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
<b>ASTM</b>	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
<b>ACI</b>	AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

## SUMÁRIO

---

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	TEMA DA PESQUISA .....	14
1.1.1	Delimitação do Tema.....	14
1.2	PROBLEMA .....	14
1.3	HIPÓTESE .....	15
1.4	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	15
1.4.1	Objetivo Geral .....	15
1.4.2	Objetivos Específicos .....	15
1.5	JUSTIFICATIVA .....	16
1.6	MÉTODOS DA PESQUISA .....	16
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2</b>	<b>CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA.....</b>	<b>17</b>
2.1	HISTÓRIA .....	17
2.2	DEFINIÇÃO .....	17
2.3	UTILIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO CAR.....	18
2.4	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	19
2.5	MATERIAIS CONSTITUINTES.....	19
2.5.1	Cimento .....	20
2.5.2	Agregados.....	21
2.5.2.1	Importância dos Agregados no CAR.....	21
2.5.3	Sílica Ativa.....	22
2.5.4	Escória de Alto Forno .....	23
2.5.5	Aditivos .....	23
2.5.6	Água de Amassamento .....	24
2.7	TRABALHABILIDADE.....	24
2.7.1	Medida da trabalhabilidade .....	25
2.7.1.1	Ensaio de abatimento de troco de cone.....	26
2.8	CURA.....	26
2.8.1	Cura Térmica.....	27
2.8.2	Cura úmida.....	27

2.9	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	28
2.10	UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	28
<b>3</b>	<b>ESTUDO EXPERIMENTAL DO CAR.....</b>	<b>30</b>
3.1	METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	30
3.1.2	Seleção e Caracterização dos Materiais.....	31
3.1.2.1	Cimento.....	31
3.1.2.2	Agregados Miúdos.....	31
3.1.2.3	Agregados Graúdos.....	32
3.1.2.4	Sílica Ativa.....	32
3.1.2.5	Escória de Alto Forno.....	33
3.1.2.6	Aditivo.....	33
3.1.2.7	Água de Amassamento.....	34
3.2	PROPORCIONAMENTO DOS MATERIAS.....	34
3.2.1	Características dos Materiais Utilizados na pesquisa.....	35
3.2.2	Consumo de Materiais por m <sup>3</sup> de Concreto.....	35
3.3	PRODUÇÃO DA MISTURA.....	38
3.3.1	Ensaio de consistência.....	41
3.4	CURA DO CONCRETO.....	48
3.5	CAPEAMENTO DOS CORPOS-DE-PROVA.....	49
3.6	ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO.....	50
3.6.1	Resultados dos Ensaio e Análise.....	52
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os grandes avanços na tecnologia do concreto proporcionaram o surgimento dos concretos de alta resistência, cuja característica principal é a elevada resistência à compressão. Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008) O concreto é definido como sendo de “alta resistência” apenas com base na resistência à compressão a uma dada idade. Na década de 1970, antes do advento dos superplastificantes, os concretos que apresentavam 40 MPa ou mais de resistência à compressão aos 28 dias eram chamados de concretos de alta resistência. Por esta qualidade que o diferencia do concreto convencional, o Concreto de Alta Resistência (CAR) é um material que vem sendo largamente pesquisado e empregado em diversos países, como Estados Unidos, Canadá, França, Noruega, entre outros. No Brasil, o seu emprego é ainda limitado, tendo se desenvolvido quase exclusivamente nas grandes capitais, como São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Porto Alegre, Florianópolis e Brasília, graças aos grupos de pesquisa concentrados nas universidades públicas (MENDES, 2002). Em Palmas – TO, apesar da proximidade de Brasília, o emprego de concreto de alta resistência tem sido muito limitado na construção civil. No Estado do Tocantins há obras de grande porte que utilizaram concreto de alta resistência (CAR), como: A ponte Fernando Henrique Cardoso construída com CAR de 40 MPa e Ferrovia Norte-Sul em construção com CAR de 75 MPa.

Seguindo a evolução natural do setor, a indústria da construção civil tem buscado novas tecnologias e materiais alternativos, o reaproveitamento de resíduos gerados pelas marmorarias, pode ser usado pelas construtoras e centrais de concreto, não somente visando a redução de custos, mas também sobre as óticas ambientais e sociais, através da utilização de sistemas de reciclagem e da busca da sustentabilidade dos processos de produção. As marmorarias produzem enormes quantidades de resíduos, gerados a partir do processo de fabricação de peças confeccionadas a partir das chapas de mármore e granito. Esses descartes muitas vezes são jogados no pátio de própria empresa, tornado-se um problema ambiental pela quantidade produzida. Segundo dados de Gonçalves (2000 *apud* GOMES,

2008), no Brasil a quantidade estimada da geração do resíduo de corte de granito é de 165.000 ton/ano.

## 1.1 TEMA DA PESQUISA

Concreto de Alta Resistência.

### 1.1.1 Delimitação do tema

Estudo experimental de concreto de alta resistência (CAR), utilizando como agregado graúdo resíduos de granito preto (São Gabriel).

## 1.2 PROBLEMA

As marmorarias geram uma enorme quantidade de resíduos oriundos do seu processo de fabricação de peças confeccionadas a partir de chapas de mármore e granitos, com o intuito de estar reaproveitando esses descartes o trabalho visa contribuir para maior compreensão do comportamento do concreto de alta resistência a partir da reutilização dos resíduos produzidos pelas marmorarias como agregado graúdo e materiais dispostos na região. Entende-se, que para reutilização de resíduos provenientes dos processos de produção das marmorarias de Palmas - TO se faz necessários estudos por meio de pesquisas e ensaios feitos em laboratório, comprovando que este material pode ser usado como agregado graúdo na produção de concreto de alta resistência, dentro deste contexto, é possível utilizar esses descartes para produção de concreto de alta resistência em Palmas – TO?

### 1.3 HIPÓTESE

O estudo e ensaios feitos em laboratório se fazem necessário para comprovação da eficiência da utilização do granito britado, proveniente de resíduos gerados por marmorarias localizadas em Palmas – To, como agregado graúdo na produção de concreto de alta resistência.

### 1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

#### 1.4.1 Objetivo Geral

Produzir concreto de alta resistência (CAR) utilizando como agregado graúdo os resíduos gerados pelas marmorarias proveniente do corte, quebra e sobra de peças de granito preto (São Gabriel) de modo que esse produto seja submetido a ensaios de compressão para se verifique a resistência alcançada.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinação de traço para concreto de alta resistência, utilizando materiais encontrados na região da cidade de Palmas- TO;
- Moldar corpos-de-prova obtendo resultados de ensaio de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias;
- Reaproveitar de resíduos do granito preto (São Gabriel) gerados pelas marmorarias na produção do concreto de alta resistência como agregado graúdo.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Na cidade de Palmas - TO, observa-se através de visitas realizadas em marmorarias uma grande quantidade de resíduo proveniente de sobras e quebras de peças de granito, geralmente depositados no próprio pátio da empresa.

Não existe um local adequado para as empresas que trabalham com esse tipo de material depositar os resíduos gerados pelas mesmas, nem uma utilização eficiente para enorme quantidade de resíduos produzida.

## 1.6 MÉTODOS DA PESQUISA

O trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas feitas em livros, revistas, publicações, artigos, monografias, tese, NBR e consulta à internet, entre outras. Desenvolvida no âmbito do município de Palmas - TO, com intuito de verificar a resistência à compressão do CAR, produzido com matérias disposto na região e reutilizando resíduos de granito preto (São Gabriel) como agregado graúdo, entrelaçada com dados de outros pesquisadores.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em três capítulos, incluindo este primeiro capítulo de introdução.

No segundo capítulo faz-se uma revisão da literatura sobre as diretrizes que devem ser seguidas para alcançar a racionalização na alvenaria de vedação.

E o terceiro capítulo apresenta a conclusão do trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

## 2 CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

### 2.1 HISTÓRIA

O concreto de alta resistência começou a ser produzido no final da década de 1960, após o desenvolvimento de aditivos redutores de água de alto desempenho (superplastificantes), compostos de sais de sulfonato de naftaleno e sulfato de melanina produzidos no Japão e na Alemanha, respectivamente (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Na década de 50, os concretos com 35 MPa eram considerados de alta resistência. Na década de 60, concretos de 40 a 50 MPa já estavam disponíveis comercialmente no mercado. No início dos anos 70, os concretos de alta resistência atingiam a barreira técnica dos 60 MPa. Durante os anos 80, com o advento dos superplastificantes e da utilização metódica da sílica ativa esta barreira foi ultrapassada, chegando a concretos de alta resistência mecânica à compressão da ordem de 100 MPa, MENDES (2002, apud ACI 363R-92, 2001; AITCIN, 2000).

### 2.2 DEFINIÇÃO

O CAR tem sido definido em função a resistência à compressão, referida aos 28 dias. Na década de 1970, antes do advento dos superplastificantes, os concretos que apresentavam 40 MPa ou mais de resistência à compressão aos 28 dias eram chamados de concretos de alta resistência. Com a relação água/cimento baixa, estabelecia em 0,40 devido à utilização de aditivos superplastificantes na produção do CAR. Mais tarde, quando concretos de 60 a 120 MPa chegaram ao mercado, *em 2002 o ACI Committe on High Strength Concrete revisou a definição*

*para abranger dosagens com resistência de projeto especificada de 55 MPa ou mais (MEHTA e MONTEIRO, 2008).*

A NBR 8953 (1992) classifica os concretos em dois grupos de resistência à compressão ( $f_{ck}$ ), no Grupo I, estão os concretos de 10 a 50 MPa e no Grupo II, estão os concretos de 50 a 80 MPa. De acordo com a norma, os concretos do Grupo II têm características e resistências além do convencional, para os quais as atuais normas brasileiras não são apropriadas. Desta forma, podemos considerar concretos com  $f_{ck} > 50$  MPa, como sendo concretos de alta resistência.

Entende-se que o aumento da resistência do concreto esta associado a uma microestrutura mais coesa e com menos vazios, devido à utilização de superplastificante e sílica ativa na produção do concreto. Desta maneira, o CAR apresenta varias outras vantagens alem da resistência a compressão como baixa permeabilidade, alta estabilidade dimensional, alta resistência à brasão, alta resistência a ataque de agentes agressivos, proporcionando assim maior durabilidade ao concreto.

Com base nestes argumentos, será adotada neste trabalho a expressão de concreto de alta resistência ou simplesmente, CAR.

### 2.3 UTILIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO CAR

O CAR tem sido utilizado com muita freqüência na construção de altos edifícios, reduzindo as dimensões dos pilares, com o intuito de aumentar a área útil das edificações e acelerar a execução da obra, proporcionando a redução na carga permanente da estrutura e nas fundações, aumentando a durabilidade do concreto.

Os aspectos benéficos da utilização do CAR nas estruturas não residem apenas nas altas resistências, mas os ganhos obtidos com uma estrutura mais durável e menos suscetível a ataques de agentes agressivos justificam a utilização do CAR mesmo admitindo-se seu custo superior quando comparado aos concretos de baixa resistência (QUEIROGA, 2001).

Hoje em dia, se utiliza concreto de alta resistência da ordem de 140 MPa na construção de edifícios altos do mundo, como mostra na *Figura 2.1*.



*A construção deste edifício alto usou concreto com resistência à compressão de 108 a 149 MPa aos 28 dias. Os caminhões betoneiras tinham um tempo de trânsito de 45 minutos da central de concreto até o canteiro de obra. Superplastificantes foram utilizados para atingir uma trabalhabilidade adequada no concreto de 0,19 de relação água/cimento.*

**Figura 2.1 – Edifício e-Tower em São Paulo**  
*Fonte: Mehta e Monteiro (2008)*

## 2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

O custo do CAR por metro cúbico torna-se relativamente maior quando comparado ao concreto convencional, devido à utilização de agregados de excelente qualidade, uma quantidade maior de cimento e o acréscimo de aditivos e adições. Sabe-se que o consumo do concreto está diretamente aliado à dimensão das peças que são reduzidas significativamente com a utilização do CAR, conseqüentemente tem-se a diminuição do consumo de concreto por metro cúbico, já que se atingem as resistências esperadas com seções bem menores do que a de concreto convencional.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o uso do concreto de alta resistência é justificado por pilares mais finos nos dois terços inferiores do edifício.

## 2.5 MATERIAIS CONSTITUINTES

Muitos são os materiais dispostos no mercado que podem ser usados para a produção de concreto de alta resistência, havendo assim a necessidade de um criterioso cuidado na seleção dos mesmos já que se busca como resultado final um concreto de excelente qualidade, se fazendo necessários estudos pré-liminares em laboratório para a seleção dos materiais adequados para produção do CAR.

### 2.5.1 Cimento

Este material tem uma importância significativa para o concreto de alta resistência, já que o cimento influencia tanto a resistência da pasta quanto à aderência na zona de transição pasta-agregado.

Para escolha do cimento na produção do concreto de alta resistência deve se levar em consideração as características: módulo de finura, composição química e compatibilidade com os aditivos. Geralmente utilizado o cimento portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) sua composição é mostrada na *Tabela 2.1*, embora contemplado pela ABNT como norma separada do cimento comum, é na verdade um tipo particular deste, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias de aplicação. O desenvolvimento de alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente 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 (SÁNCHEZ, 1999).

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% de massa)		
		Clínquer + Gesso	Material carbonático	Norma Brasileira
Alta Resistência Inicial	CP V - ARI	100-95	0-5	NBR 5733

**Tabela 2.1 – Composição do Cimento de Alta Resistência Inicial**

*Fonte: Sánchez (1999)*

## 2.5.2 Agregados

A NBR 9935 define agregados como o material granular pétreo, sem forma ou volume, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial. Os agregados são produzidos a partir de britagem de maciços rochosos (pedra britada, pó de pedra) ou da exploração de ocorrências de material particulado natural (areia, seixo rolado ou pedregulho).

Segundo LEONHART e MONNIG (1982), como agregados podem ser utilizados materiais naturais e artificiais, que apresentem resistência suficiente e que não afetem o endurecimento do concreto. Os agregados devem por isso ser isentos de impurezas (terra, argila, torrões, material pulverulento e impurezas orgânicas) e componentes prejudiciais a pega do cimento.

Os agregados se subdividem em agregados graúdos e agregados miúdos, de acordo com o tamanho das partículas, que é definido por aberturas de malhas de peneiras. Denomina-se agregado graúdo aquele cujas partículas são retidas em uma peneira com malha quadrada com aberturas de lado igual a 4,8mm. O agregado cujas partículas passam nessa peneira é denominado agregado miúdo (GIAMMUSSO, 1992).

Com a escassez dos agregados naturais nas regiões das grandes cidades estão se desenvolvendo os chamados agregados artificiais que serão fabricados, de preferência, de resíduos industriais. Estes agregados serão produzidos de modo a atender a propriedades específicas que se ajustam às necessidades das obras, conferindo maior resistência e ductilidade ao concreto (ALVES, 1982).

As normas pertinentes para concreto (NBR 7211, 1983; NBR 12654, 1992) devem ser consultadas atendendo as exigências mínimas das mesmas para seleção dos agregados, pois não existe uma NBR específica para concreto de alta resistência.

### 2.5.2.1 Importância dos Agregados no CAR

Em concreto de alta resistência, o agregado continua importante para a estabilidade dimensional, mas também representa um papel importante na resistência e rigidez do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Segundo SOUZA e THOMAZ (1998), os agregados utilizados no concreto, seja de ponto de vista econômico ou do ponto de vista técnico, exercem influência sobre algumas características importantes, como a redução de retração, o aumento da resistência aos esforços mecânicos e outros.

Sabe-se que, para concretos usuais, a resistência dos agregados não é o fator limitante de resistência do concreto, sendo a resistência da pasta de cimento o determinante da resistência final. Nos concretos de alta resistência, a interface pasta-agregado é altamente homogênea, deixando de se constituir como um plano preferencial de microfissuração. A forma e granulometria do agregado gráudo também exercem significativa influência no módulo de elasticidade, PRICE (1999 *apud* QUEIROGA, 2001).

Sendo assim, o agregado gráudo pode ser o fator limitante da resistência à compressão do concreto de alta resistência (CAR).

### 2.5.3 Sílica ativa

É um pó de cor cinza-clara, suas partículas têm o diâmetro médio de 0,2 µm, o que é muito menor que o diâmetro médio de um grão de cimento. Em 28 dias, o concreto com adição da sílica ativa apresenta um aumento na resistência de até 78% em relação ao concreto normal, IMPERCIA (Catálogo de Produto: SILMIX – SÍLICA ATIVA).

A sílica ativa é um produto decorrente do processo de fabricação do silício metálico ou do ferro silício, de onde é gerado o gás SiO, que ao sair do forno elétrico oxida-se, formando o SiO<sub>2</sub>, sendo então captado por filtros manga e devidamente armazenado em silo para a sua comercialização. A utilização da sílica ativa proporciona ao concreto, vantagens como: Resistência a compressão; Durabilidade; Maior coesão em concretos; Melhor desempenho e a brasão.

Três efeitos promovidos pela sílica ativa são responsáveis pelo aumento da durabilidade do concreto:

- **Inibição da reação álcali-agregados:** Com a sílica ativa, o teor de álcalis é reduzido, prevenindo os efeitos expansivos desta reação;
- **Maior desempenho e resistência a abrasão e erosão:** A sílica ativa proporciona ótima aderência pasta-agregado, proporcionando alto desempenho quando o concreto estiver sendo submetido à abrasão (mecânica) e à erosão (hidráulica);
- **Maior resistência a agentes agressivos:** A adição de sílica ativa confere a concretos e argamassas uma baixíssima permeabilidade a íons e fluidos em geral, proporcionando ao concreto e armadura alta durabilidade em ambientes de grande agressividade.

#### 2.5.4 Escoria de Alto Forno

É um subproduto da indústria siderúrgica, gerado a partir da produção de ferro gusa, é um material obtido pela cominuição da escória de alto-forno que se solidifica pelo resfriamento lento sob condições atmosféricas (Mehta e Monteiro, 2008).

#### 2.5.5 Aditivos

Com a utilização de superplastificantes na produção do CAR proporciona alta fluidez sem segregação, apresentando alta trabalhabilidade durante o lançamento do concreto, desta forma o concreto de alta resistência mostra ser bastante adequado para produção de componentes estruturais moldados in loco para edifícios altos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Superplastificantes apresentam várias propriedades e benefícios, no estado fresco: Alta taxa de redução de água (40% aproximadamente); melhora a aderência e textura da superfície do concreto; produz concretos coesivos porém trabalháveis e reduz a exsudação. No estado endurecido: Alta resistência à

compressão axial inicial e final; alta resistência à tração na flexão inicial e final; aumenta o módulo de elasticidade e redução de permeabilidade.

#### 2.5.6 Água de amassamento

No concreto de alta resistência a água de amassamento é utilizada obedecendo aos mesmos requisitos do concreto convencional, desde que a água seja potável proveniente rede normal de abastecimento público. A água de amassamento tem que ser isenta de açúcar ou sais, pois se torna inadequada para produção de concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), Impurezas na água usada na mistura de concreto, quando excessivas, podem não apenas afetar a resistência do concreto e o tempo de pega, mas também gerar eflorescência (depósitos de sais brancos na superfície do concreto) e causar a corrosão da armadura e do aço protendido. Em geral, a água de amassamento raramente é um fator relevante na resistência do concreto, porque muitas especificações para produzir misturas de concreto exigem que a qualidade da água seja a mesma da água de beber, e redes de água potável raramente contêm sólidos dissolvidos acima de 1000 ppm (partes por milhão).

A água imprópria para beber não precisa, necessariamente, ser inadequada para a mistura de concreto. Á água levemente ácida, alcalina, salgada, salobra, turva ou mal cheirosa não deve ser rejeitada de imediato. Isso é importante porque há deficiência de água em muitas partes do mundo. Além disso, águas recicladas de cidades, de mineração e de muitas operações industriais podem ser usadas com segurança como água de amassamento para concreto. O melhor caminho para avaliar a conveniência de uso de uma água de desempenho desconhecido para a produção de concreto é comparar o tempo de pega do cimento e a resistência de corpos-de-prova de argamassa feitos com a água desconhecida aos feitos com uma água limpa, de referência (Mehta e Monteiro, 2008).

## 2.7 TRABALHABILIDADE

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a trabalhabilidade é definida pela ASTM C-125 como a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade. O termo manipular inclui as operações de primeiras idades como lançamento, adensamento e acabamento. O esforço necessário para lançar o concreto é principalmente determinado pelo esforço total necessário para iniciar e manter o fluxo, o que, por um lado, depende das propriedades reológicas do lubrificante (pasta de cimento) e do atrito interno entre as partículas dos agregados bem como o atrito externo entre o concreto e a superfície da fôrma.

A trabalhabilidade é uma propriedade compostas por dois principais componentes:

- **Fluidez:** Esta relacionada com a consistência do concreto, medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone, o referido ensaio é usado como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto. O esforço necessário para adensar o concreto é regido pelas características de fluidez e pela facilidade com que a redução de vazios pode ser alcançada sem afetar a estabilidade.
- **Coesão:** Esta relacionada com a estabilidade do concreto, é um índice tanto para a capacidade de retenção de água (oposto à exsudação) quanto para a capacidade de retenção dos agregados graúdos na massa de concreto fresco (oposto à segregação).

É evidente a importância da trabalhabilidade do concreto fresco, esta propriedade afeta a capacidade de execução adequada da concretagem. Independentemente da dosagem utilizada para a produção do concreto, uma mistura de concreto que não possa ser lançada com facilidade ou plenamente adensada, provavelmente, não apresentará as características esperadas de resistência ou de durabilidade (Mehta e Monteiro, 2008).

### 2.7.1 Medida da trabalhabilidade

A trabalhabilidade, é uma propriedade de difícil definição do concreto, sua natureza composta e sua dependência do tipo de construção e dos métodos de lançamento, adensamento e acabamento são as razões pelas quais nenhum método único de ensaio pode ser projetado para medir a trabalhabilidade. O ensaio mais utilizado universalmente para medir a trabalhabilidade do concreto, é o ensaio de abatimento do tronco de cone. Para o mesmo propósito, o segundo método em ordem de importância é o ensaio Vebe, que é mais indicado para misturas mais secas. O terceiro é o ensaio do fator de compactação, que procura avaliar a característica de compatibilidade de uma mistura do concreto. O ensaio de abatimento é prescrito pela ASTM C-143, os outros dois ensaios pelo ACI 211.3 (Mehta e Monteiro, 2008).

#### 2.7.1.1 Ensaio de abatimento de troco de cone

O equipamento utilizado para realização do ensaio de abatimento de tronco de cone é muito simples. Consiste em uma haste de socamento e um tronco de cone, de 300 mm de altura e 100 mm de diâmetro no topo e 200 mm de diâmetro na base. O troco de cone é preenchido com concreto e, depois, lentamente suspenso. O concreto, sem apoio, abate-se com seu peso próprio; o decréscimo da altura do tronco do cone é chamado de abatimento do concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o ensaio de abatimento não é adequado para medir a consistência de concretos muito fluidos e muito secos. Além disso, ele não é uma boa medida de trabalhabilidade, embora seja uma boa medida de consistência ou das características de fluidez do concreto. O resultado desse ensaio permite que o operador da central de concreto investigue e corrija o problema.

## 2.8 CURA

A cura do concreto tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água de amassamento necessária para hidratação do cimento, responsável pela pega e endurecimento do concreto. O objetivo principal da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição, até que o espaço inicialmente ocupado pela água seja preenchido pelos produtos da hidratação do aglomerante. Para alcançar bons resultados a cura do concreto se torna indispensável, sendo que a execução de forma inadequada causará redução da resistência e da durabilidade do concreto, provocando fissura e deixando a camada superficial fraca, porosa e permeável, vulnerável à entrada de substância agressivas provenientes do meio-ambiente. O tempo mínimo de cura do concreto esta relacionada com a relação água/cimento e quanto mais tempo durar a cura (até 3 semanas), melhor será para o concreto.

### 2.8.1 Cura Térmica

Segundo CAMARINI e CINCOTTO (1995), quando o concreto é submetido à cura térmica tem-se o aumento da velocidade de endurecimento do aglomerante. No processo de cura térmica aumenta-se a velocidade de hidratação do cimento, acelerando o ganho de resistência mecânica, com a formação antecipada dos produtos de hidratação: silicato e cálcio hidratado (CSH) e hidróxido de cálcio (TECNOSIL, 2009).

Com o objetivo de melhorar o desempenho e a rapidez na desmoldagem de peças de concreto, há décadas vem sendo empregado o recurso da cura térmica, buscando sempre o equilíbrio entre o custo e benefício desta tecnologia, frente às necessidades de produtividade.

### 2.8.2 Cura úmida

Na cura úmida do concreto deve-se manter a superfície do concreto úmida por meio de aplicação de água na sua superfície ou manter o concreto coberto com água ou totalmente imerso em água par evitar que ocorra evaporação da água.

## 2.9 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Sendo uma das propriedades do concreto mais importante e valorizada pelos engenheiros e projetistas, a resistência à compressão é geralmente especificada nos projetos de estruturas de concretos. Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), se comparada com outras propriedades do concreto, a resistência à compressão é relativamente mais fácil de ser ensaiada. O ensaio é realizando de acordo com a NBR 5739 (1994).

## 2.10 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Diversos processos industriais são fontes geradoras de resíduos sólidos, provocando, quase sempre, degradação ambiental. Com grande potencial de reciclagem como material de construção, dentre estes processos encontra-se o beneficiamento de rochas ornamentais, ou melhor, o beneficiamento de mármore e granitos.

A utilização de resíduos e subprodutos industriais na construção civil apresenta-se como uma excelente alternativa para diminuição do impacto ambiental causado, e maior contribuição para o desenvolvimento sustentável, considerando que a construção civil é o setor da atividade tecnológica que consome grande volume de recursos naturais e parece ser um dos indicados para absorver resíduos sólidos.

A questão ambiental é hoje, em todo mundo, motivo de grandes preocupações e a exploração desenfreada de recursos naturais, bem como a geração de resíduos em enormes quantidades, notadamente na

construção civil, têm desafiado toda a comunidade técnica e científica. Nesse sentido é que o desenvolvimento sustentável atua para minimizar os impactos ambientais da geração de resíduos (SILVA FILHO, 2001).

No processo de comercialização do granito, tem-se a necessidade de se fazer o corte das chapas que tem uma medida média 3.00 x 1.80 m, de acordo com as necessidades dos clientes, com o beneficiamento as marmorarias geram uma grande quantidade de sobra de chapas, devido a cortes diferentes, manchas, trincas, tamanhos diferentes, enfim, dificilmente a marmoraria consegue um índice menor do que 20% de perda.

Desta forma, o setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos principais de resíduo conforme a seguir:

Retalhos de rocha: este tipo de resíduo é proveniente de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes retalhos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa.

Lama de serraria: é a lama proveniente da serragem dos blocos de rochas (após a extração), além do polimento e lustro das chapas.

Lama de marmoraria: esta ocorre em forma de finos formados a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas, a partir das chapas geradas nas serrarias.

Segundo dados de Gonçalves (2000 *apud* GOMES, 2008), no Brasil a quantidade estimada da geração do resíduo de corte de granito é de 165.000 ton/ano.

### 3 ESTUDO EXPERIMENTAL DO CAR

Com o intuito de caracterizar o concreto de alta resistência produzido com agregado graúdo proveniente de resíduos produzidos por marmorarias, procedeu-se à realização do ensaio mecânico de resistência à compressão ( $f_c$ ).

O estudo experimental foi realizado seguindo as seguintes etapas:

- Levantamento, através de pesquisa de campo, dos resíduos gerados pelas marmorarias.
- Seleção de resíduo do granito preto (São Gabriel), o referido material foi coletado em marmorarias na cidade de Palmas - To.
- Utilizou-se o britador disposto no laboratório de materiais de construção, para produção da brita.
- Caracterização dos materiais, através de ensaios específicos.
- Estudo de dosagem, utilizando o método proposto por METHA e AITCIN (2008), sofrendo algumas adaptações à realidade dos materiais utilizados na pesquisa.
- Realização de ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova para se obter resultados de resistência dos mesmos.

O desenvolvimento do estudo experimental se realizou no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

#### 3.1 METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios de resistência à compressão ( $f_c$ ) foram realizados de acordo método proposto pela NBR-5730/94.

O desenvolvimento do estudo experimental foi realizado com os materiais e procedimentos descritos a seguir:

### 3.1.2 Seleção e Caracterização dos Materiais

Os materiais foram selecionados de acordo com a disponibilidade do comércio local da cidade de Palmas - To, os referidos materiais foram utilizados da maneira como fornecidos pelos fabricantes, sem alterações de suas características, exceto os agregados (exemplo: retirada de pó através de lavagem, peneiramento para o ajuste da curva granulométrica, entre outros).

#### 3.1.2.1 Cimento

O Cimento Portland (CP V - ARI) utilizado na pesquisa é composto de silicato de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio e filler carbonático, com massa específica de 2,98 kg/dm<sup>3</sup>. Normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5733/1991, fornecido por central de concreto da cidade (SUPERMIX) que incentiva a pesquisa tecnológica, o referido material foi selecionado por ter como característica principal a alta resistência inicial.

Na composição do concreto o cimento (CP V – ARI) foi utilizado na proporção de 60% em relação aos aglomerantes (sílica e escória), o mesmo foi depositado em local fechado em tambor lacrado com plástico para a conservação de suas características iniciais.

#### 3.1.2.2 Agregados Miúdos

Foi utilizado como agregado miúdo areia artificial proveniente do pó de brita de Micaxisto de rocha de Quartzo e Mica extraídos em jazidas por mineradora na cidade de Dois Irmãos – TO, este material foi lavado e secado em estufa a 300°C para diminuir a umidade presente no mesmo, limitamos a areia como diâmetro máximo de 4,8 mm. Com massa específica de 2,76 kg/dm<sup>3</sup>.

### 3.1.2.3 Agregados Graúdos

Coletou-se resíduos em marmorarias de Palmas-TO de granito preto (São Gabriel), proveniente de rocha magmática formada por Quartzo, Feldspato e Mica extraídos em Jazidas do município de Cachoeiro de Itapemirim – ES. Sabendo que o material utilizado na pesquisa é proveniente do mesmo fornecedor, o referido material foi britado no Laboratório de Máquinas e Equipamentos do IFTO Campus Palmas com diâmetro máximo de 9,5 mm. Com massa específica de 2,36 kg/dm<sup>3</sup>.

Lembrando que o intuito do estudo experimental é verificar o desempenho do agregado graúdo no concreto de alta resistência. A utilização desse material foi determinada através da curva granulométrica, realizada através de ajustes feitos com o peneiramento do material de acordo com o método de empacotamento adotado na dosagem do concreto de alta resistência.

### 3.1.2.4 Sílica Ativa

A Sílica Ativa foi adicionada ao concreto de alta resistência para melhorar as condições de porosidade e aderência na zona de transição da pasta/agregado e a resistência à abrasão. Nesta pesquisa foi utilizado o produto SILMIX – SÍLICA ATIVA, segundo o fabricante suas partículas têm o diâmetro médio de 0,2  $\mu\text{m}$ , o que é muito menor que o diâmetro de um grão de cimento. Em 28 dias, o concreto com adição desse produto apresenta um aumento na resistência de até 78% e relação ao

concreto normal. Na *Tabela 3.1*, apresenta as características físicas e químicas desde produto.

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS</b>	
Massa específica	2.220 kg/m <sup>3</sup>
Superfície específica	20.000 m <sup>2</sup> /kg
Formato de partícula	esférico
Diâmetro médio	0,2 µm
Teor de SiO <sub>2</sub>	Mín. 85%
Umidade	Máx. 3%
Equivalente Alcalino	Máx. 0,5%

**Tabela 3.1 – Características Físicas e Químicas SILMIX – SÍLICA ATIVA**  
*Fonte: IMPERCIA*

#### 3.1.2.5 Escória de Alto Forno

A Escória de Alto Forno fornecida por empresa que utiliza a mesma para jateamento, acrescido ao concreto para ocupar os vazios do concreto e proporcionar maior resistência a abrasão, tendo uma massa específica de 2,50 kg/dm<sup>3</sup>.

#### 3.1.2.6 Aditivo

Adição de Aditivo Superplastificante (GLENIUM 51 – BASF) se fez necessário para melhor a relação a/c diminuindo a quantidade de água e

aumentando a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, aumentar a resistência à compressão do concreto no estado endurecido, melhorando o acabamento do concreto e aumentando o módulo de elasticidade. Este produto é isento de cloretos e atende as prescrições da norma ASTM C 494, os dados técnicos são mostrados na *Tabela 3.2*.

<b>DADOS TÉCNICOS:</b>	
Função Principal:	Superplastificante 3ª geração
Base química:	Policarboxilatos
Aspecto:	Líquido viscoso
Cor:	Bege
Densidade:	1,067 a 1,107 g/cm <sup>3</sup>
pH:	5 a 7
Sólidos:	28,5 31,5%
Viscosidade:	95 a 160 cps

**Tabela 3.2 – Dados Técnicos GLENIUM 51**  
*Fonte: BASF*

Segundo o catálogo do fabricante, o aditivo superplastificante GLENIUM 51, tem uma estrutura química diferenciada dos superplastificantes tradicionais. Consiste de polímeros de éter carboxílico com largas cadeias laterais. No começo do processo de mistura; inicia-se o mecanismo de dispersão eletrostática que os tradicionais, porém as cadeias laterais unidas à estrutura polimérica geram uma energia que estabiliza a capacidade de refração e dispersão das partículas de cimento. Com este processo obtém-se um concreto fluido com uma grande redução da quantidade de água.

### 3.1.2.7 Água de Amassamento

Utilizou-se na produção do CAR, água potável proveniente da rede de abastecimento da Companhia de Abastecimento do Tocantins – SANEATINS.

### 3.2 PROPORCIONAMENTO DOS MATERIAS

A proporção dos materiais utilizados nas misturas foi determinada com base do método proposto por METHA e MONTEIRO (2008), específico para concreto de alta resistência.

O método foi escolhido por apresentar facilidade na execução, planilhas que facilitam o proporcionamento dos materiais, a realização de ensaios preliminares com os materiais utilizados na pesquisa se fez necessário para ajuste do método escolhido.

A dosagem adotada foi determinada por meio de alguns parâmetros pré fixados: Escolha dos materiais (aglomerantes, agregados miúdos e graúdos, adições e aditivo), faixa de resistência de 50 à 100 MPa e relação água / aglomerante.

#### 3.2.1 Características dos Materiais Utilizados na pesquisa

Por meio de ensaios feitos no laboratório de construção civil do IFTO, Campus Palmas e informações fornecidas por fabricantes dos produtos utilizados na pesquisa, caracterizou-se os materiais como mostrado na *Tabela 3.3*.

MATERIAL	IDENTIFICAÇÃO /TIPO/ MARCA	PROCEDÊNCIA / FABRICANTE	MASSA ESPECÍFICA	DIMENSÃO MÁX	MÓDULO DE FINURA
Cimento	CP-V ARI	Votorantin	2,98 kg/dm <sup>3</sup>	-	-
Água	Abastecimento público	Saneatins	-	-	-
Agregado Miúdo	Micaxisto	Jazida de Dois Irmãos - TO	2,76 kg/dm <sup>3</sup>	300 µm	2,59
Agregado Graúdo	Granito Preto	Jazida de Cachoeiro de Itapemerim - ES	2,36 kg/dm <sup>3</sup>	9,5 mm	3,48

Escória	Alto forno		2,50 kg/dm <sup>3</sup>	-	-
Sílica Ativa	SILMIX	Impercia	2,22 kg/dm <sup>3</sup>	0,2 µm	-
Aditivo	Superplastificante GLENIUM 51	BASF	-	-	-

**Tabela 3.3 – Características dos Materiais Utilizados na Produção do CAR**

### 3.2.2 Consumo de Materiais por m<sup>3</sup> de Concreto

Determinado a proporção dos materiais mostrado na *Tabela 3.4*, inicializou-se a fase de produção do concreto.

<b>TRAÇO</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO</b>	<b>QUANT.</b>	<b>VOL.</b>
Cimento	CP-V ARI	536,81 Kg/m <sup>3</sup>	180,14
Água	Rede de Abastecimento	138,04 L/m <sup>3</sup>	138,04
Agregado Miúdo	Micaxisto	444,78 Kg/m <sup>3</sup>	161,15
Agregado Graúdo	Granito Preto	667,18 Kg/m <sup>3</sup>	282,70
Escória	Alto Forno	153,37 Kg/m <sup>3</sup>	61,35
Sílica Ativa	Silmix	191,72 Kg/m <sup>3</sup>	91,29
Superplastificante	Glenium 51	18,40 L/m <sup>3</sup>	46,00

**Tabela 3.4 – Quantidade de material utilizando no traço por m<sup>3</sup>**

Com a determinação da proporção dos materiais, iniciou o processo de separação do material necessário para produção do concreto (*Figura 3.1*).



**Figura 3.1 – Material utilizado na produção do CAR**

Foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 145 litros conforme *Figura 3.2*, para realização da mistura dos materiais na produção do concreto, molhando as paredes internas da betoneira antes de começar o processo de mistura, evitando que a água da mistura fosse absorvida pela parede anteriormente seca. Desta forma:



**Figura 3.2 – Betoneira 145 litros**

O material foi colocado na betoneira com velocidade constante seguindo a ordem utilizada no trabalho de MENDES (2002) com adaptação:

1. 100% agregado graúdo + 25% água
2. 100% cimento + 100% sílica + 100% escória (previamente misturados)
3. 75% água (restante)
4. Mistura por 1 minuto
5. 75% aditivo
6. Mistura 1 minuto
7. 100% agregado miúdo
8. Mistura por 2 minutos
9. Parada por 2 minutos
10. 25% aditivo

11. Mistura por 2 minutos

### 3.3 PRODUÇÃO DA MISTURA

Inicialmente, foi colocado na betoneira o agregado graúdo de granito preto (São Gabriel) britado com diâmetro máximo de 9,5 mm e adicionou-se  $\frac{1}{4}$  da água de amassamento (SANEATINS) para homogeneização do material (*Figura 3.3*).



**Figura 3.3 – Agregado Graúdo (Granito Preto)**

Em seguida colocou-se na betoneira o cimento (CP-V ARI), sílica ativa (SILMIX) e escória de alto forno (previamente misturados), adicionando-se a restante da água de amassamento  $\frac{3}{4}$  para não perder os materiais pulverulentos (*Figura 3.4*).



**Figura 3.4 – Água de Amassamento**

Após um minuto de mistura adicionou-se  $\frac{3}{4}$  do aditivo superplastificante (GLENIUM 51) mostrado na *Figura 3.5*.



**Figura 3.5 – Aditivo Superplastificante**

Misturando por mais um minuto, em seguida adicionou o agregado miúdo (MICAXISTO) como mostra à *Figura 3.6*.



**Figura 3.6 – Agregado Miúdo (Micaxisto)**

Misturando por mais dois minutos, ficando parada por dois minutos a argamassadeira, tempo necessário que o aditivo superplastificante utilizando na pesquisa leva pra reagir como restante do material, colocando o restante do aditivo superplastificante  $\frac{1}{4}$  mistura por mais dois minutos finalizando a mistura (*Figura 3.7*).



**Figura 3.7 – Concreto no término do processo de produção**

Observado que o tempo de mistura (10 minutos) para CAR é superior ao tempo de utilizado para concretos convencionais, devido ao comportamento tixotrópico deste concreto que demanda maior energia de amassamento, implicando

em misturar o concreto por mais tempo na betoneira, para assim obter a homogeneidade necessária (MENDES, 2002).

A tixotropia é a propriedade que alguns materiais apresentam, quando no estado plástico, de adquirirem uma consistência gelatinosa quando deixados em repouso, mas ao serem solicitados ou agitados por esforços externos retornam a um estado fluido, viscoso.

Foram realizadas três misturas de concreto, com o mesmo traço e seguindo os mesmos procedimentos de mistura, mantendo o ambiente da sala de dosagem sob as mesmas condições de temperatura e umidade, de forma a evitar a interferência destes fatores nos resultados dos concretos. A programação de produção do CAR foi realizada conforme mostrado na *Tabela 3.5*.

PRODUÇÃO DO CAR	
CORPOS-DE-PROVA	DATA MOLDAGEM
CP - 01	26/10/2009
CP - 02	31/10/2009
CP - 03	4/11/2009

NOTA: Significa da sigla CP – Corpo-de-prova

**Tabela 3.5 – Programação da Produção do CAR**

### 3.3.1 Ensaio de consistência

Com o termino da mistura (aproximadamente 10 minutos), realizou o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Figura 3.8*). De acordo com a NBR NM 67/98: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.



**Figura 3.8 – Tronco de cone**

Seguindo os seguintes passos para realização do ensaio descritos pela ASTM C-143, abaixo:

1. Apoiar os pés sobre as abas inferiores do cone para mantê-lo firme no chão. Preencher 1/3 do volume do cone (67 mm de altura) com a amostra de concreto e compactá-lo com 25 golpes com uma haste de aço de ponta arredondada com 16 mm de diâmetro por 600 mm de comprimento. Distribuir uniformidade os golpes os golpes na seção transversal de cada camada. Para a camada inferior, será necessário inclinar levemente a haste, executando, aproximadamente, metade dos golpes perto do perímetro externo, prosseguindo com os golpes verticais em espiral em direção do centro (*Figura 3.9*).



**Figura 3.9 – Primeiro passo do ensaio de abatimento do troco de cone**

2. Preencher o segundo terço do cone (metade da altura) e, novamente, dar 25 golpes fazendo a haste penetrar, mas não atravessar, a primeira camada. Distribuir os golpes regularmente, como descrito no Passo 1 (*Figura 3.10*).



**Figura 3.10 – Segundo passo do ensaio de abatimento do troco de cone**

3. Preencher o cone com excesso de concreto até transbordar e, novamente, golpear 25 vezes de modo que a haste penetre, mas não atravesse a segunda camada. Da mesma forma, distribuir os golpes uniformemente (*Figura 3.11*).



**Figura 3.11 – Terceiro passo do ensaio de abatimento do troco de cone**

4. Raspar o concreto do topo do cone com a haste metálica de modo que o concreto fique bem nivelado. Limpar a haste do cone, removendo o excesso de concreto que transbordou, imediatamente começa a operação para içar o molde deverá ser realizada entre 2 e 5 segundos, por meio de uma elevação firme, sem movimento lateral ou torsional sobre o concreto. Toda a operação, do início do preenchimento até a remoção do molde, deverá ser realizada sem interrupção e encerrada em 2,5 minutos (*Figura 3.12*).



**Figura 3.12 – Quarto passo do ensaio de abatimento do troco de cone**

5. Posicionar a haste horizontalmente sobre o cone invertido de modo que esta se estenda sobre o concreto abatido. Medir imediatamente a distância (abatimento) entre a geratriz inferior da haste ao ponto central (marcado por uma régua) do material que foi desenformado (*Figura 3.13*). Essa distância corresponde ao abatimento do concreto. Caso ocorra desmoronamento de um lado do concreto ou de parte da massa ou, ainda, caso a parte superior esteja muito fora de nível, desconsiderar o ensaio e fazer um novo ensaio com outra amostra de concreto fresco.



**Figura 3.13 – Quinto passo do ensaio de abatimento do troco de cone**

Em seguida, foram moldados os corpos-de-prova com dimensões de 100x200 mm (*Figura 3.14*), para ensaio de resistência a compressão (aos 3, 7 e 28 dias) NBR 5739/94 Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.



**Figura 3.14 – Moldagem dos corpos-de-prova**

Cabe salientar que antes de começar a mistura de concreto as formas metálicas utilizadas para fazer a moldagem dos corpos-de-prova têm que se fazer a limpeza retirando todas as sujeiras e impureza em seguida se passa o desmoldante (graxa) em toda à superfície (*Figura 3.15*) que terá contato com o concreto no seu estado fresco, facilitando o desprendimento do concreto no estado endurecido.



**Figura 3.15 – Preparação dos corpos-de-prova**

Com um vibrador de imersão elétrico, com uma agulha de 25 mm foi realizado a adensamentos dos corpos-de-prova (*Figura 3.16*).



### **Figura 3.16 – Adensamento dos corpos-de-prova**

Após a moldagem, os corpos-de-prova foram cobertos com plástico, evitando assim a perda de água do concreto, e mantidos em ambiente de laboratório aproximadamente 24 horas, desmoldados após este período das formas metálicas (*Figura 3.17*).



**Figura 3.17 – Corpos-de-prova desmoldados**

## **3.4 CURA DO CONCRETO**

O concreto foi submetido à cura térmica por 3 (três) dias após a desmoldagem dos corpos-de-prova, os mesmos foram colocados em uma caixa de térmica de isopor com água acima do nível do material e instalado o aquecedor de

água (mergulhão) para deixar a água quente e posteriormente, submetidos à cura úmida em ambiente de laboratório..

### 3.5 CAPEAMENTO DOS CORPOS-DE-PROVA

Para realização deste ensaio, tiveram que ser capeado os corpos-de-prova, pois a superfície superior fica irregular, como mostrado na *Figura 3.18*.



**Figura 3.18 – Superfície irregular dos corpos-de-prova**

Objetivando a regularização da superfície dos corpos-de-prova, foram levados à marmoraria (a mesma que forneceram os resíduos para realização desta pesquisa), submetidos ao mesmo processo utilizado no beneficiamento das chapas de granito, os corpos-de-prova foram dispostos na bancada de forma linear e nivelados (no esquadro), como mostrado na *Figura 3.19*.



**Figura 3.19 – Torneamento dos corpos-de-prova**

Com a superfície totalmente regular ao término deste processo, os corpos-de-prova ficam prontos pra serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial, sendo que alguns não ficaram totalmente regularizados sua superfície prejudicando o resultado final.

### 3.6 ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

Na *Tabela 3.6*, é mostrada a programação dos ensaios de ruptura dos corpos-de-prova, de acordo com a data de moldagem.

PROGRAMAÇÃO DE ENSAIOS				
CORPOS-DE-PROVA	DATA MOLDAGEM	Ensaio de Resistência à Compressão		
		3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
CP - 01	26/10/2009	29/10/2009	2/11/2009	23/11/2009
CP - 02	31/10/2009	3/11/2009	7/11/2009	28/11/2009
CP - 03	4/11/2009	7/11/2009	11/11/2009	2/12/2009

**Tabela 3.6 – Programação de Ensaios de Ruptura**

Foi utilizada a prensa EMIC, com capacidade de 2000 KN, na realização dos ensaios, aplicando uma carga constante de 1,2 (Figura 3.20). A ruptura dos corpos-de-prova é necessária para a obtenção dos resultados de resistência à compressão axial do concreto, seguindo os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 1994b). Os ensaios foram realizados nas idades de: 3, 7 e 28 dias para os corpos-de-prova submetidos aos regimes de cura utilizados na pesquisa.



**Figura 3.20 – Regulador de Velocidade da Prensa EMIC**

Para cada idade foi moldado um corpo-de-prova para realização do ensaio de resistência à compressão axial (Figura 3.21).



Figura 3.21 – Ensaio de Resistência à Compressão

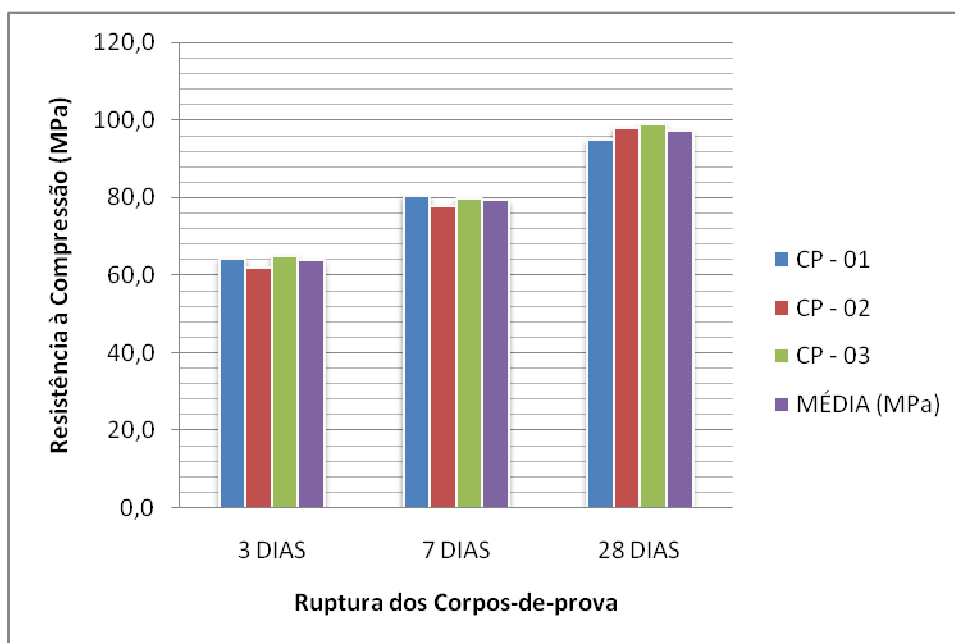
### 3.6.1 Resultados dos Ensaios e Análise

Na *Tabela 3.7*, apresenta os resultados obtidos com os resultados dos ensaios realizados conforme programação apresentada na *Tabela 3.6*.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)			
CORPOS-DE-PROVA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
CP 01	64,3	80,4	92,5
CP 02	62,0	77,8	89,4
CP 03	65,0	79,6	91,5
<b>MÉDIA (MPa)</b>	<b>63,8</b>	<b>79,3</b>	<b>91,1</b>

Tabela 3.7 – Resultados de Ruptura dos Corpos-de-prova

O gráfico mostrado na *Figura 3.22* apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial do concreto produzido com o mesmo traço apresentado na *Tabela 3.4*, os valores são representação de três betonadas realizadas em diferentes dias.



**Figura 3.22 – Gráfico com Resultados de Resistência à Compressão**

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho teve como objetivo principal produzir concreto de alta resistência com agregado graúdo oriundo de resíduos de granito preto (São Gabriel) comumente encontrados em marmorarias da cidade de Palmas - TO, sendo britados com diâmetro máximo de 9,5 mm para tal aplicação, foi estudado a propriedade mecânica de resistência à compressão axial, por ser fundamental para o CAR, a partir da qual as propriedades de resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade podem ser correlacionadas.

Os resultados obtidos na produção do concreto de alta resistência neste trabalho podem ser utilizados por engenheiros e projetistas como subsídios para o cálculo e produção de CAR em futuras obras em nossa região.

Embora não devam ser tomadas de maneira absoluta as conclusões apresentadas a seguir, pois se referem apenas aos resultados obtidos da produção do concreto com materiais utilizados neste trabalho, servindo para um melhor conhecimento do CAR produzido com materiais empregados na pesquisa.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo, com a metodologia utilizada na pesquisa, os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial do concreto, podendo chegar às seguintes conclusões:

- Concreto de alta resistência pode ser produzido na cidade de Palmas–TO, utilizando materiais encontrados na região.
- O agregado graúdo investigado proveniente de resíduos gerados pelas marmorarias no processo de comercialização das chapas de granito da cidade mostra – se adequado para produção do CAR.
- Resultados dos ensaios de abatimento do troco de cone, não se mostrou eficiente na medida da trabalhabilidade pelo fato do CAR ser bastante fluido com slump test de 220 mm, comprovando a afirmação feita por Mehta e Monteiro (2008).

- A utilização granito preto (São Gabriel) britado como agregado graúdo ( $D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$ ) na produção de concreto de alta resistência mostrou-se bastante eficiente quando analisado a resistência à compressão da ordem de 90 MPa.
- Por fim, cabe destacar quanto à resistência à compressão axial, em apenas 3 dias de cura o CAR atingiu 70% de sua resistência apresentada aos 28 dias de cura.

## **6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Estudar a viabilidade econômica da produção de agregado graúdo a partir de resíduos gerados pelas marmorarias para produção de concreto de alta resistência.

Utilizar outros tipos de resíduos gerados pelas marmorarias, mapeando os materiais dispostos nos pátios destas empresas, tanto para produção de CAR como concreto convencional, objetivando futuras aplicações.

Verificar as outras propriedades mecânicas do concreto: resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, e as propriedades relacionadas à durabilidade, principalmente quanto à relação álcali-agregado, ataque por sulfatos, penetração de íons cloretos e carbonatação, para concretos de alta resistência produzidos a partir da utilização de resíduos de granito preto (São Gabriel) como agregado graúdo.

## **7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS**

NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

NBR 14724: **Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2005.

NBR 10520: **Informação e documentação – Citações em Documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2002.

NBR 6023: **Informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

NBR 5738: **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994a.

NBR 5739: **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994b.

NBR 8522: **Concreto: Curva Tensão Deformação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

NBR NM 67: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

ALVES, D. A., **Manual de Tecnologia do Concreto.** 2. ed, UFG, 1982.

BASF The Chemical Company, Catálogo de Produto: **Superplastificante GLENIUM.**

CAMARINI, G.; CINCOTTO, M. A. **Efeito da Cura Térmica na Resistência de Argamassa de Cimento Portland Comum e de Alto – Forno.** Escola Politécnica, São Paulo, SP, 1995.

FERREIRA, A. C. B.; NUNES, E.C.D., **Reaproveitamento e incorporação de resíduos de mármore em poliamida 66,** Escola SENAI Mario Amato, São Bernardo do Campo, SP, 2007.

GIAMMUSSO, S. E., **Manual do Concreto.** 1. ed, PINI, 1992. p. 43.

GOMES, K. N. A do E. S.; BACARJI, E., **Avaliação da influência da Utilização de resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMC) substituindo o agregado miúdo na produção de concretos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, IBRACON, 50., **Anais.** Salvador, BA, 2008.

IMPERCIA, Catálogo de Produto: **SILMIX – SÍLICA ATIVA.**

LEONHART, F.; MONNIG E., **Construções de Concreto: Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado.** 1. ed, INTERCIÊNCIA, 1982. p. 5.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestruturas, Propriedades e Materiais.** 3. ed, IBRACON, 2008. p. 471-489.

MENDES, S. D. S., **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba.** Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado em eng. Civil) – Universidade Federal do Paraná.

QUEIROJA, M. V., **Concreto de Alta Resistência: Propriedades, características e Experimentações**. 1. ed, EDITORA DA ULBRA, 2001. p. 13-14.

RIBEIRO, F. H. M; ARANTE, J.; CASSOL, V., **Avaliação da influência da cinza de casca de arroz produzida no Estado do Tocantins nas propriedades do concreto nos estados plástico e endurecido**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, IBRACON, 47., **Anais**. Recife, PE, 2005.

SÁNCHEZ, E. S. **Nova Normalização Brasileira para o Concreto Estrutural**. 1. ed, INTERCIÊNCIA, 1999. p. 5.

SILVA, A. S. R.; FERREIRA, E. de A. M., **Avaliação de parâmetros de desempenho de concreto contendo agregado graúdo de escória de ferro-cromo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, IBRACON, 47., **Anais...** Recife, PE, 2005.

SOUZA, C. M. d.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed, PINI, 1998. p. 90.

TÉCHNE, Revista. São Paulo, Ed. PINI, n. 137, p. 39, agosto, 2008.