

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TÁSSIA NEUDA DE MORAES SILVA**

**CONTRIBUIÇÕES À PRODUÇÃO DO CONCRETO FLUIDO COM FIBRAS DE  
BORRACHA E DE POLIPROPILENO E ADIÇÃO DE RESÍDUOS DO  
BENEFICIAMENTO DO MÁRMORE E GRANITO**

**Maceió**

**2013**

**TÁSSIA NEUDA DE MORAES SILVA**

**CONTRIBUIÇÕES À PRODUÇÃO DO CONCRETO FLUIDO COM FIBRAS DE  
BORRACHA E DE POLIPROPILENO E ADIÇÃO DE RESÍDUOS DO  
BENEFICIAMENTO DO MÁRMORE E GRANITO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Área de concentração: Estruturas

Orientadora: **Dr<sup>a</sup>. Aline da Silva Ramos Barboza**

**Maceió**

**2013**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

S586c Silva, Tássia Neuda de Moraes.  
Contribuições à produção do concreto fluido com fibras de borracha e de polipropileno e adição de resíduos do beneficiamento de mármore e granito / Tássia Neuda de Moraes Silva. – 2013.  
107 f. : il., graf., tabs.

Orientadora: Aline da Silva Ramos Barboza.  
Dissertação (mestrado em Engenharia Civil : Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2013.

Bibliografia: f. 100-107.

1. Engenharia civil - Estruturas. 2. Materiais compósitos. 3. Concreto fluido.  
4. Fibras de borracha. 4. Fibras de polipropileno. I. Título.

CDU: 624.016



**CONTRIBUIÇÃO À PRODUÇÃO DO CONCRETO FLUIDO COM FIBRAS  
DE BORRACHA E POLIPROPILENO E ADIÇÃO DE RESÍDUOS DO  
BENEFICIAMENTO DO MÁRMORE E GRANITO.**

**TÁSSIA NEUDA DE MORAES SILVA**

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 07 do mês de novembro do ano de 2013.

Banca Examinadora:

Prof.ª. Dr.ª. Aline Da Silva Ramos Barboza  
(Orientadora – PPGEC/UFAL)

Prof.ª. Dr.ª. Karoline Alves de Melo Moraes  
(CTEC /UFAL)

Prof. Dr. Edvaldo Monteiro Lisboa  
(CTEC-UFAL)

Prof.ª. Dr.ª. Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Ávila Jacintho  
(PUC-Campinas)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu Pai Jose Antônio, a minha Mãe Maria Ivete, a meus Irmãos e a todos que contribuíram para o desenvolvimento do mesmo.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por me dar oportunidade de chegar até aqui e me tornar uma pessoa mais forte e confiante nos momentos mais difíceis, e completar mais uma etapa das várias que ainda virão na minha vida.

Aos meus pais, José Antônio da Silva Filho e Maria Ivete de Moraes Silva, irmãos: Thiago de Moraes Silva e Tassiele de Moraes Silva; namorado: Clóvis Aloísio Gonçalves Júnior, pela presença e incentivo constante, pela compreensão da minha ausência em alguns momentos, permitindo o início, o desenvolvimento e a conclusão dessa longa caminhada.

Às Professoras Dr<sup>a</sup>. Juliane A. F. Marques e Dr<sup>a</sup>. Tânia Maria Gomes Voronkoff Carnaúba, pelas cartas de recomendação do Mestrado e pelo incentivo, e a todos os Professores que ministraram as matérias, pelos relevantes conhecimentos transmitidos.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline da Silva Ramos Barboza, à qual tenho imenso carinho e admiração, pela sua dedicação, críticas sempre construtivas, pelos conteúdos transmitidos durante todo o período da dissertação, e principalmente pela persistência e confiança em mim depositada. Por ter me dado a primeira oportunidade de desenvolver um trabalho científico e por ter me dedicado seu precioso tempo, ideias, materiais, enfim, tudo que foi necessário para o início e efetivação deste trabalho. Serei eternamente grata, pois sem seu apoio jamais teria vencido esta etapa tão importante na minha vida.

Ao Coordenador do Curso de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Prof. Dr. Paulo César Correia Gomes por compartilhar seu conhecimento e pelo apoio em todos os momentos.

Ao Prof<sup>o</sup>Dr<sup>o</sup> Edvaldo Monteiro Lisbôa e a Prof<sup>a</sup>Dr<sup>a</sup> Karoline Alves de Melo Moraes, pela dedicação e pelo conhecimento transmitido e pelas críticas construtivas que ajudaram a enriquecer meu trabalho.

Ao Professor Msc. Alexandre Nascimento de Lima pela amizade, pela imensa ajuda, por compartilhar seu conhecimento e experiência nas questões práticas de laboratório.

À todos os funcionários do Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA), pela ajuda indispensável para o desenvolvimento da pesquisa; em especial à Secretária Girley Vespaziano da Silva pelo relevante apoio e os técnicos Basílio, Cícero, Fábio, Florilda, Henrick, João, Jonas, Marco e Valdemir Gomes de Farias pela ajuda participativa na maior parte dos experimentos, aos funcionários Flabel e Sidicley, pela importante ajuda prestada no laboratório, pela amizade, disposição em ajudar.

Às empresas BRITEX, BASF, GRACE, IGRAMAL e Firestone Tyresoles, pela doação dos materiais necessários para confecção dos concretos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da pesquisa, possibilitando a compra de materiais e equipamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo financiamento da pesquisa, possibilitando a compra de materiais e equipamentos.

À BRASKEM S.A., pela concessão de financiamento da pesquisa, o que possibilitou a compra de livros, a participação em cursos.

Aos Colegas de Mestrado, que de alguma forma contribuíram para o sucesso dessa caminhada.

## CRÉDITOS

A elaboração deste trabalho foi possível devido ao apoio de instituições e empresas, através de sugestões e apoio técnico financeiro. Assim são dignos de crédito:

Universidade Federal de Alagoas

- Centro de Tecnologia

- Laboratório de Estruturas e Materiais

Britex Minerações Ltda

INDARC – Indústria de Artefatos de Concreto Ltda

IGRAMAL – Indústria de Granito e Mármore

Firestone Tyresoles

BASF – The Chemical Company,

BRASKEM S.A.–Através da concessão da ajuda de custo para Pesquisa.

CAPES – Através da concessão do Projeto de Pesquisa Nº 2003229073-3.

CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

GRACE – Construction Products,



## RESUMO

SILVA, T. N. M. (2013) Contribuições à Produção do Concreto Fluido com Fibras de Borracha e Polipropileno e Adição de Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFAL, Maceió, 2013.

Define-se como Concreto Fluido (CF) um concreto que apresenta abatimento entre 18cm e 25cm. Essa elevada fluidez pode permitir o preenchimento de fôrmas sem que haja necessidade de adensamento mecânico, apenas sob a ação do seu peso próprio. Como todo concreto, o CF possui baixa resistência à tração, e uma alternativa de minimizar essa limitação é a inserção de fibras ao concreto. A incorporação de fibras pode reforçar o compósito e permitir maior absorção de tensões de tração. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo proporcionar uma contribuição ao estudo de compósitos por meio da produção de um concreto fluido com fibras de borracha e de polipropileno e adição de resíduos do beneficiamento de mármore e granito (CFF). A Metodologia de dosagem utilizada para a obtenção desse concreto foi a de Gomes (2002) estabelecida para concreto autoadensável, com adaptações para inserção das fibras. Para o estudo das propriedades de adensabilidade foram realizados ensaios no estado fresco, tais como: espalhamento, funil V e caixa em L. Para verificação das propriedades mecânicas foram realizados ensaios no estado endurecido, tais como: compressão, tração e módulo de elasticidade, com corpos-de-prova cilíndricos de dimensões de 10cm x 20cm de CR e de CFF, com teor de fibras de borracha de 2,0% e de polipropileno de 0,25% da quantidade de cimento em massa. Como resultados, o CFF apresentou características de autoadensabilidade com um diâmetro máximo de espalhamento de 62,5cm. A resistência à compressão e o módulo de elasticidade apresentou uma redução, já a resistência à tração apresentou um aumento quando comparados ao Concreto de Referência (CR). Dos resultados conclui-se que o CFF possui características de autoadensabilidade e acréscimo na resistência à tração. O CFF com fibras permitiu a incorporação de um resíduo inservível, reduzindo o impacto ambiental e se caracterizando como um concreto ecoeficiente.

Palavras-chave: concreto fluido; fibras de borracha; fibras de polipropileno.

## ABSTRACT

SILVA, T. N. M. (2013) Contributions obtaining of the Self Compacting-Concrete using Residue of the Improvement of the Marble and Granite and Study of Mechanical Properties. Dissertation (Master's degree in Engineering) - Program of Masters degree in Civil Engineering, UFAL, Maceió, 2013.

The Fluid Concrete (FC) is a concrete that has high fluidity, which may allow the filling of molds without the need of mechanical compaction, only under the action of its own weight. As a concrete whole, the FC has low tensile strength, and an alternative to minimize this limitation is the inclusion of fibers to the concrete. The incorporation of fiber reinforced composite and induce tensile stresses. Within this context, this paper aims to provide a contribution to the production of a fluid concrete fiber, rubber and polypropylene and addition of waste from the processing of marble and granite(FFC). The methodology dosage used was Gomes (2002) for obtaining fluid concrete (FC) being adapted for insertion of fiber. To study the properties of compacting tests were carried out in the fresh state, such as scattering, V funnel and box L. To check the mechanical properties tests were performed in the hardened state, such as compression, tensile and modulus of elasticity with cylindrical body-of-proof dimensions of 10cm x 20cm RC and FFC, with fiber content rubber 2.0% polypropylene and 0.25% of the amount by weight of cement. As a result, the SC showed a decrease in scattering maximum diameter with increasing fiber content entered. The compressive strength and modulus of elasticity decreased, since the tensile strength showed an increase when compared to RC. From the results it is concluded that the FFC is not self compacting concrete, but has characteristics of self compacting, the increase in tensile strength indicates a higher ability to absorb impact. The FFC helps reduce scrap waste, reducing the environmental impact by becoming a ecoefficient concrete.

Keywords : fiber fluidconcrete ; rubber fibers , polypropylene fibers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lançamento de CF em estrutura densamente armada.....	31
Figura 2 – Classificação das Fibras .....	37
Figura 3 - Cadeia carbônica do polipropileno .....	40
Figura 4 – Esquema do método utilizado por Okamura e Ozawa para obtenção da auto adensabilidade .....	50
Figura 5 – Esquema do método Repette-Melo.....	51
Figura 6 – Passo a Passo para dosagem do CAA pelo método de Tutikian .....	53
Figura 7 – Método de dosagem proposto por Gomes .....	54
Figura 8 - Material retido na peneira de abertura 2,38mm .....	65
Figura 9 - Material retido na peneira de abertura 2,00mm .....	65
Figura 10 – Equipamentos para a produção da pasta.....	67
Figura 11 – Ensaio de Espalhamento .....	72
Figura 12 – Funil V .....	74
Figura 13 – Caixa L.....	75
Figura 14 - Máquina Universal EMIC DL 30000 .....	77
Figura 15 – Resistência à tração por compressão diametral.....	78
Figura 16 – Ensaio de Módulo de Elasticidade .....	79
Figura 17 – Ensaio de espalhamento com o concreto de referência.....	86
Figura 18 – Ensaio de Espalhamento do concreto inicial.....	86
Figura 19 – Ensaio de espalhamento do concreto ótimo .....	87

Figura 20 – Ensaio do Funil V .....	88
Figura 21 – Ensaio de Caixa L .....	89
Figura 22 – Ensaio de resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade .....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Material retido nas peneiras .....	59
Tabela 2 - Material retido nas peneiras .....	64
Tabela 3 - Limite de resultados para <i>slump flow test</i> segundo diversos autores.....	73
Tabela 4 - Composição granulométrica da areia.....	82
Tabela 5 - Dosagem inicial do concreto .....	84
Tabela 6 - Dosagem ótima do concreto.....	84
Tabela 7 - Margem de valores de cada método de ensaio.....	85
Tabela 8 - Classificação das consistências .....	87
Tabela 9 - Ensaio de Resistência à compressão do concreto de referência .....	90
Tabela 10 - Ensaio de Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência .....	90
Tabela 11 - Ensaio de Módulo de elasticidade do concreto de referência .....	91
Tabela 12 - Ensaio de Resistência à compressão do concreto com fibras .....	91
Tabela 13 - Ensaio de Resistência à tração por compressão diametral do concreto fluido com fibras .....	92
Tabela 14 - Ensaio de Módulo de elasticidade do concreto com fibras.....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo das principais pesquisas de concretos com fibras de borracha	55
Quadro 2 - Resumo das principais pesquisas de concretos com fibras de Polipropileno.....	55
Quadro 3 - Caracterização do agregado graúdo .....	59
Quadro 4 - Características do resíduo utilizado .....	61
Quadro 5 - Propriedades do Aditivo Superplastificante .....	63
Quadro 6 - Propriedades da fibra de polipropileno .....	66
Quadro 7 – Dosagem dos componentes do concreto .....	70
Quadro 8 - Caracterização do agregado miúdo natural .....	82
Quadro 9 – Quadro comparativo das propriedades mecânicas .....	95
Quadro 10 – Valores estimados pelas equações dadas na NBR 6118:2003 .....	95

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica da brita.....	60
Gráfico 2 – Curva granulométrica do resíduo.....	62
Gráfico 3 - Curva granulométrica da areia.....	83
Gráfico 4 - Comparação dos resultados dos ensaios de Resistência à compressão	93
Gráfico 5 – Comparação dos resultados do ensaio de Resistência à tração por compressão diametral .....	94
Gráfico 6 - Comparação dos resultados do ensaio de Módulo de elasticidade .....	94

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AL	Estado de Alagoas
CAA	Concreto Auto-Adensável
CAB	Concreto com Adição de Borracha
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CC	Concreto Convencional
CF	Concreto Fluido
CFF	Concreto fluido com fibras
CP	Corpo-de-Prova
CRF	Concreto Reforçado com Fibras
CTEC	Centro de Tecnologia da UFAL
DIP	Desvio padrão
EFNARC	European Federation of National Trade Associations
EN	European Norma
FP	Fibra de Polipropileno
IC	Índice de Consistência
LEMA	Laboratório de Estruturas e Materiais do NPT/UFAL
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma Mercosul
NPT	Núcleo de Pesquisa Tecnológica
RBMG	Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito
RSMG	Resíduo de Serragem de Mármore e Granito
UFAL	Universidade Federal de Alagoas



## LISTA DE SÍMBOLOS

#	Peneira
%	Porcentagem
$\gamma_{ar}$	Densidade da areia
$\gamma_c$	Densidade do cimento
$\gamma_r$	Densidade do resíduo
$\gamma_{sp}$	Densidade do superplastificante líquido
$\pm$	Mais ou menos
$\mu\text{m}$	Micrometro
A	Área a seção do corpo de prova
a/c	Relação água/cimento
$A_{ar}$ (%)	Absorção da areia em porcentagem
ar/br	Relação areia/brita
CADAR	Concreto de Alto Desempenho
C	Massa de cimento
a.C	Antes de Cristo
cm	Centímetro
cps	Caracteres por segundo
d	Diâmetro do corpo de prova
D (%)	Percentual do desvio em relação à média
$E_c$	Módulo de deformação estática
$E_{ci}$	Módulo de elasticidade do concreto
F	Carga máxima aplicada
f/c	Relação fíler/cimento
$f_c$	Resistência à compressão
$F_{c,ef}$	Resistência efetiva
$f_{ck}$	Resistência característica à compressão
$f_{ct}$	Resistência à tração direta
$f_{ct,f}$	Resistência à tração na flexão
$f_{ct,m}$	Resistência média à tração

$f_{ct,sp}$	Resistência à tração por compressão diametral
$f_{ctk}$	Resistência característica à tração direta
$f_t$	Resistência à tração
$f_{tD}$	Resistência à tração na compressão diametral
g	Grama
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
GPa	Gigapascal
$H_2/H_1$	Relação entre as alturas do concreto no final e no início da parte horizontal da caixa L após o repouso do concreto no ensaio
$H_{ar}$ (%)	Umidade da areia em percentagem
Kg	Quilograma
kg/m <sup>3</sup>	Quilogramas por metro cúbico
L	Largura do corpo de prova
L/d	Relação largura e diâmetro
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
°	Graus
°C	Graus centígrados
$P_a$	Massa de água
$P_{ac}$	Massa de água adicionada corrigida
$P_{ar}$	Massa de areia
$P_{arc}$	Massa de areia corrigida
$P_{asp}$	Massa de água contida no superplastificante
pH	Potencial Hidrogenionico
$P_r$	Massa do Resíduo
$P_{sp}$	Massa de superplastificante sólido
$P_{spl}$	Massa do superplastificante líquido
r/c	Relação resíduo/cimento
rpm	Rotações por minuto

sp/c	Relação superplastificante sólido/cimento
T	Tempo medido, em segundos, para o fluxo total da argamassa ou do concreto através do Funil V
T	Tempo de esvaziamento do cone de Abrams em segundos
T <sub>20</sub>	Tempo para o concreto percorrer 20cm na parte horizontal da Caixa L
T <sub>40</sub>	Tempo para o concreto percorrer 40cm na parte horizontal da Caixa L
T <sub>50</sub>	Tempo para o concreto alcançar um diâmetro de 50cm no ensaio de espalhamento
tf	Tonelada força
T <sub>sp</sub> (%)	Teor de sólido do superplastificante em percentagem
V	Volume de pasta ou argamassa que é introduzido no Cone de Abrams no ensaio
V	Volume de pasta ou argamassa que é medido seu tempo de fluxo no Cone de Abrams
V <sub>ar</sub>	Volume de areia
V <sub>arg</sub>	Volume de argamassa
V <sub>p</sub>	Volume de pasta
ε	Deformação específica
ε <sub>a</sub>	Deformação específica média dos corpos-de-prova sob a tensão básica (0,5 MPa).
ε <sub>b</sub>	Deformação específica média dos corpos-de-prova sob a tensão maior
σ	Tensão
σ <sub>a</sub>	Tensão fixa
σ <sub>b</sub>	Tensão maior
FP	Fibra de Polipropileno
γ <sub>a</sub>	Densidade da água
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	Polipropileno
a/f	Relação água/finos
g/ml	Relação grama/mililitro
CPII	F-32 Cimento Portland Composto com Fíler

min	Minuto
ASTM	American Society for Testing and Materials
seg	Segundos
kg/cm <sup>2</sup>	Relação quilograma/centímetro quadrado
kgf	Quilograma Força
cm <sup>2</sup>	Centímetro Quadrado
kN	Quilo Newton
d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	Relação diâmetro 1/ diâmetro 2
d <sub>f</sub>	Diâmetro Final
σ <sub>1</sub>	Tensão
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de cálcio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
1.1 Considerações Iniciais .....	22
1.2 Justificativa .....	25
1.3 Objetivos.....	27
1.4 Estrutura da Dissertação .....	27
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>29</b>
2.1 Concreto .....	29
2.2 Concreto Fluido.....	30
2.2.1 Resíduos .....	32
2.3 Concreto Fluido com Resíduos do Beneficiamento do Mármore e Granito .....	33
2.4 Concreto Reforçado com Fibras .....	35
2.3.1 Tipos de fibras.....	36
• Fibras Naturais .....	38
• Fibras artificiais .....	38
• Borracha.....	39
• Polipropileno.....	39
• Outras fibras.....	40
2.5 Adição de Fibras de Borracha em Materiais Cimentícios .....	41
2.6 Adição de Fibras de Polipropileno em Materiais Cimentícios .....	46
2.7 Metodologias de Dosagem .....	48
2.7.1 Método de Okamura.....	49
2.7.2 Método Repette-Melo.....	50
2.7.4 Método de Tutikian.....	52
2.7.5 Método de Gomes.....	53
2.7.6 Considerações finais .....	54

<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>57</b>
3.1 Características dos materiais.....	57
3.1.1 Cimento.....	57
3.1.2 Agregado miúdo.....	58
3.1.2.1 Areia Natural.....	58
3.1.3 Agregado graúdo.....	58
3.1.4 Água.....	60
3.1.5 Adição mineral.....	60
3.1.6 Aditivo superplastificante.....	62
3.1.7 Fibra de borracha.....	63
3.1.8 Fibra de polipropileno.....	65
3.2 Composição e Produção das Misturas .....	66
3.2.1 Pasta.....	66
3.2.2 Definição do esqueleto granular.....	68
3.2.3 Argamassa.....	68
3.2.4 Concreto.....	69
3.3 Ensaio no Estado Fresco.....	71
3.3.1 Ensaio de espalhamento ( <i>slump flow test</i> ).....	71
3.3.2 Ensaio do funil V ( <i>V funnel test</i> ).....	73
3.3.3 Ensaio da caixa L ( <i>L-box test</i> ).....	75
3.4 Ensaio no Estado Endurecido.....	76
3.4.1 Determinação da resistência do concreto.....	76
3.4.1.1 Resistência à compressão.....	76
3.4.1.2. Resistência à tração por compressão diametral.....	77
3.4.1.3. Módulo de elasticidade.....	79

<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
4.1 Caracterização dos Materiais .....	82
4.1.1 Agregado miúdo .....	82
4.2 Ensaio no Estado Fresco .....	83
4.2.1 Ensaio de espalhamento .....	85
4.2.2 Funil V .....	88
4.2.3 Caixa L .....	88
4.3 Ensaio no Estado Endurecido .....	89
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>96</b>
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros .....	98
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Um dos materiais mais utilizados no setor da construção civil é o concreto devido a sua enorme capacidade de adaptação a diversos tipos de aplicações. Nos últimos anos no Brasil diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de otimizar os métodos de dosagem e de proporcionar melhorias nas propriedades do concreto.

O concreto tem seu uso geralmente associado a formas cartesianas como vigas, pilares retos e lajes planas, porém não são apenas essas as aplicações mais vantajosas para esse material, que possui bom comportamento quando submetido a esforços de compressão e comportamento frágil quando submetido a esforços de tração (ISAÍA,2011).

Os primeiros estudos sobre concreto de cimento Portland surgiram no final do século XIX e início do século XX, acreditava-se que os agregados desempenhavam apenas o papel de enchimento, que apesar de ocupar de 70% a 80% do volume em concretos convencionais, tratava-se de um material apenas granular inerte direcionado para minimizar o custo final de produção do concreto (ISAÍA,2011).

Com a abundancia dos agregados, baixo custo e boa qualidade, era fácil apostar no seu papel secundário. Com o incremento da aplicação do concreto, sua utilização em larga escala rapidamente evidenciou o seu verdadeiro papel dando aos agregados sua verdadeira importância técnica, econômica e social. Recentemente, fatores como: o esgotamento das jazidas de agregado natural de boa qualidade próximo aos grandes centros consumidores, a elevação dos custos de transporte, o aumento da competitividade comercial entre os produtores de concreto e a conscientização da sociedade, contribuíram para o desenvolvimento de estudos de concretos especiais com agregados artificiais e reciclados (ISAIA, 2011).

No concreto convencional a propagação de microfissuras sob tensão aplicada ocorre rapidamente sendo portanto a responsável pela baixa resistência à tração do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A partir do momento em que se abre uma fissura, ele rompe abruptamente, caracterizando o comportamento tipicamente frágil



do material. Uma das opções mais comumente utilizada para melhorar o desempenho à tração consiste na inserção de fibras à mistura de concreto. As fibras atuam no processo de transferência de tensões, diminuindo o comportamento frágil.

No concreto reforçado com fibras (CRF), as fibras funcionam como uma ponte de transferência de tensões na matriz do concreto, aumentando sua ductilidade quando tracionadas, diminuindo o acúmulo de tensões na extremidade das fissuras (ISAIA, 2011).

A inserção de fibras de borracha ao concreto aumenta a capacidade de deformação sem o surgimento de fissuras. Embora a adição de borracha ao concreto resulte num decréscimo na resistência mecânica, a borracha atua como uma barreira que impede a propagação das fissuras. De acordo com Raghavan e Huynh(1998) o concreto com adição de fibras de borracha mostra-se capaz de suportar esforços mesmo após a sua ruptura.

O Concreto Fluido (CF) possui algumas vantagens em relação ao Concreto Convencional (CC) tais como maior deformabilidade no estado fresco o que permite sua moldagem in loco sem necessidade de adensamento mecânico, facilidade de bombeamento em distâncias maiores e com maior velocidade implicando diretamente na redução do custo de aplicação; redução de aproximadamente 40% da água utilizada no CC, ocasionando melhor aparência e textura da superfície do concreto, aumentando a durabilidade devido à redução dos defeitos na concretagem. Embora detenha inúmeras vantagens, o concreto fluido ainda apresenta ruptura frágil e baixa resistência à tração.

Lisbôa (2004) realizou um trabalho com o objetivo de obter um Concreto Auto-Adensável (CAA), utilizando o Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito (RBMG). A adição do resíduo RBMG como um fíler mineral, proporcionou ao concreto a obtenção das propriedades de autoadensabilidade.

O concreto produzido com RBMG e sem sílica ativa, apresentou uma velocidade de fluxo alta, entretanto os resultados em relação às propriedades de passar entre obstáculos e de resistência à segregação foram satisfatórios. Já o concreto com o resíduo RBMG e com adição de 3% de sílica ativa diminuiu a

velocidade de fluxo e elevou a resistência à segregação, a capacidade de preencher formas e de passar por entre armaduras. Em corpos-de-prova de 15cm x 30cm os resultados obtidos foram na ordem de 35 MPa a 37 MPa, já em corpos-de-prova de 10cm x 20cm os resultados foram na ordem de 37 Mpa a 41MPa, observando-se os melhores resultados para os CAA com 3% de sílica ativa (LISBÔA, 2004).

Santos (2005) desenvolveu uma pesquisa com o intuito de avaliar o comportamento do concreto com adição de borracha proveniente da reciclagem de pneus, com aplicações em placas pré-moldadas, analisando-se as deformações sofridas por estes elementos estruturais sob esforços de flexão, bem como os danos sofridos diante de esforços de impactos. Os resultados obtidos mostraram que o concreto de referência apresentou uma deformação na força máxima próxima a 0,2mm. Já para o concreto de estudo, os resultados mostraram que em 0,2mm a resistência ainda estava em ascensão. Concluindo que a adição de borracha atribuiu ao concreto a habilidade de romper sem que houvesse movimentos severos no ponto de carregamento.

O trabalho de Cavalcanti (2006) teve como objetivo avaliar a resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade do CAA produzido com o resíduo de serragem de mármore e granito (RSMG). A redução da granulometria do RSMG, na mistura do CAA, ocasionou um aumento da dosagem ótima do superplastificante e uma redução do volume de pasta. Nos ensaios de resistência à compressão os valores apresentados, para o CAA com RSMG passante na peneira de 300  $\mu\text{m}$ , foram significativamente maiores que os apresentados para o CC. Nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, os resultados obtidos da relação entre  $f_t$  e  $f_c$  encontraram-se no intervalo proposto para o CC, que é de (0,1 a 0,15). A evolução do módulo de elasticidade, de acordo com as idades do CAA, se apresentou de forma similar à evolução de resistência à compressão.

A pesquisa desenvolvida por Góis (2010) teve como objetivo a avaliação de forma experimental do comportamento mecânico do concreto fluido (CF) com reforço de fibras de aço levando em consideração a fração volumétrica e o fator de forma. Foi observado, nas matrizes fluidas, que os concretos com teor de 0,4% de fibras com fator de forma de 30 e de 50, apresentaram consistência fluida, sendo este o

melhor percentual de fibras para compósitos fluidos. O compósito reforçado com fibras de aço contendo maior fração volumétrica e maior fator de forma proporcionou melhores condições de aderência na matriz. Nos ensaios de resistência à tração, a média obtida foi de 13,1% da sua resistência à compressão. A incorporação de fibras de aço para o incremento da resistência à tração por compressão diametral se mostrou viável e eficiente.

Nunes (2012) desenvolveu um trabalho com o intuito de avaliar o processo de produção de um concreto fibroso fluido aplicado em elementos pré-moldados em uma microempresa do setor, utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito (RBMG) e fibra de aço. Concluiu-se que a produção peças pré-moldadas de concreto fibroso fluido em fábricas de pequeno porte, pôde gerar resultados satisfatórios na qualidade das peças e no próprio processo de produção, porém, o concreto proposto necessita de alguns cuidados além daqueles adotados no uso do concreto convencional.

No presente trabalho foi produzido um concreto fluido com adição de resíduos do beneficiamento do mármore e granito reforçado com fibras de borracha e de polipropileno.

## **1.2 Justificativa**

O concreto constitui-se num elemento indispensável na construção civil, por sua facilidade de moldagem devido a sua consistência plástica, a durabilidade diante das intempéries, a menor necessidade de manutenção, a resistência ao fogo, seu baixo custo e rápida disponibilidade para uma obra, sendo, portanto, o material mais escolhido para os elementos estruturais de uma construção (METHA e MONTEIRO, 2008).

O concreto fluido foi desenvolvido com o objetivo de resolver problemas de concretagem em estruturas de formas complexas e com elevadas taxas de armadura. Sendo considerado um grande avanço na tecnologia de concreto, o concreto fluido vem conquistando cada vez mais espaço em obras pelo mundo graças às pesquisas que vem sendo desenvolvidas e à aplicações bem sucedidas.

A procura por adições, que quando inseridas ao concreto melhorem as propriedades específicas deste, tende aos compósitos. Dentre elas, estão: alguns polímeros, materiais finos, rejeitos minerais e fibras.

As fibras são associadas a concretos como uma maneira de melhorar o comportamento da estrutura quando em serviço, e não apenas como solução para um dano causado por uma patologia, elas agregam novas características e melhoram algumas propriedades essenciais da mistura.

Estima-se que a aplicação de fibras como reforço de materiais na construção civil já tenha ocorrido nos anos de 1200 a.C., através da civilização egípcia (TANESI e AGOPYAN, 1997). No entanto, a comercialização de fibras como material de reforço para estruturas só se consolidou no início do século XX, sendo a fibra de amianto a primeira a ser utilizada em larga escala.

Alguns fatores, tais como o tipo de fibra, a interação fibra-matriz, o comprimento e a fração volumétrica, influenciam no desempenho do concreto com fibras. A ideia de adicionar dois tipos de fibras em um concreto, juntamente com o RBMG para obter características de alta fluidez, visa obter melhoria para o concreto nas primeiras horas e nas proximidades da ruptura sem, entretanto, perder condições de trabalhabilidade.

A Fibra de Polipropileno atua como um reforço no concreto, com maior eficiência nas primeiras horas após o lançamento, ou seja, quando o concreto ainda se encontra no estado fresco.

Embora sejam tomadas todas as precauções referentes à tecnologia de concreto, podem ocorrer fissuras provenientes da retração. Dessa forma a adição das duas fibras ao concreto visa obter melhorias tanto nas idades iniciais do concreto quanto no comportamento pós-ruptura.

O fator de forma e o teor de fibras incorporados ao compósito influenciam diretamente a trabalhabilidade do mesmo (BENTUR e MINDESS, 2007). A inserção de aditivos com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade, proporcionam a interação do desempenho mecânico (GÓIS, 2010).

### 1.3 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é produzir um concreto fluido reforçado com fibras de borracha e polipropileno com adição de resíduos do beneficiamento do mármore e granito e analisar as propriedades deste concreto no estado fresco e endurecido. Para alcançar o objetivo geral, algumas etapas específicas foram desenvolvidas, tais como:

- Adequar dosagens produzidas inicialmente com resíduos de mármore e granito para acréscimo das fibras
- Verificar a capacidade de adensabilidade do concreto fluido produzido.
- Estudar as relações  $f_t \times f_c$  e  $E_c \times f_c$  no concreto produzido.

### 1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação foi organizada em cinco seções, as quais são brevemente descritas a seguir.

A Seção 1 possui uma rápida introdução, com comentários iniciais citando em seguida os objetivos do trabalho e a estruturação do trabalho.

A Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica que aprecia aspectos concernentes às fibras, aos Materiais Compósitos, ao Concreto Reforçado com Fibras de Borracha e ao Concreto Reforçado com Fibras de Polipropileno. São apresentadas as definições, as classificações e as características principais das fibras, posteriormente as características físicas e geométricas da fibra de borracha e da fibra de polipropileno, o mecanismo de atuação destas e o comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras.

A Seção 3 apresenta o programa experimental desenvolvido, caracterizando os materiais, abordando a metodologia utilizada na execução dos ensaios de laboratório, nos estados fresco e endurecido, do concreto analisado.

Na Seção 4 tem-se a apresentação e análise dos resultados obtidos nos procedimentos experimentais referidos na seção anterior. E na seção 5 são

apresentadas as considerações finais do presente trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros.

Ao final, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica está organizada para apresentar os resultados de recentes pesquisas tendo em vista o foco da presente dissertação que é produzir um concreto fluido reforçado com fibras de borracha e polipropileno e adição de resíduos do beneficiamento do mármore e granito.

### 2.1 Concreto

Apesar de ser um material largamente utilizado nos dias atuais, a evolução e aperfeiçoamento do concreto se deu de forma lenta, pois dependeu do nível de conhecimento de cada época. Foi descoberto há mais de vinte séculos, utilizado no princípio como mero aglomerante, mas somente nos últimos cem anos houve desenvolvimento do conhecimento e da sua aplicação, principalmente para obras de infraestrutura (ISAIA, 2011).

Por ser constituído como o material cerâmico, que é uma matéria prima encontrada em praticamente qualquer lugar do mundo, e se adaptar a todos os locais e situações, o concreto tem um grande emprego na construção civil, pois é versátil, durável e tem um bom desempenho, proporcionando vida útil adequada e baixo custo, quando comparado a outros materiais estruturais.

O concreto é uma mistura onde partículas de agregados ficam aglomeradas numa matriz de pasta de cimento, podendo esta ter ou não adições/aditivos, que juntos formam um elemento com elevada resistência mecânica. É um compósito incombustível, não exala gases tóxicos e possui baixa condutividade térmica (METHA e MONTEIRO, 2008).

É um dos materiais que mais se adaptam à sustentabilidade, pois, pequenos ganhos unitários podem se transformar em valores muito expressivos em economia de matéria prima, de energia e de emissão de gases tóxicos à atmosfera, além da possível utilização, em larga escala, de resíduos originados de outros processos industriais.

## 2.2 Concreto Fluido

As pesquisas sobre concreto fluido tiveram início nos anos 80 na Itália, no Japão e na Alemanha. Este concreto caracterizava-se principalmente pela sua elevada fluidez, coesão e resistência à segregação sendo capaz de fluir com facilidade no interior das fôrmas sob ação do seu peso próprio, podendo necessitar de adensamento mecânico, proporcionando de forma eficaz o preenchimento de todos os espaços vazios de modo uniforme. Usualmente para atingir essas características são adicionados mais finos ao concreto, além do cimento, geralmente são incorporadas pozolanas, adições minerais e alguns materiais de subprodutos como a cinza volante, sílica ativa, além de aditivos modificadores de viscosidade e plastificante essas adições garantem ao concreto uma maior facilidade de bombeamento, excelente homogeneidade, resistência e durabilidade.

Os aditivos superplastificantes são utilizados para impedir a flocculação das partículas de cimento. Ao misturar o cimento e água, os grãos de cimento aprisionam parte da água adicionada formando uma estrutura floculada. Os aditivos superplastificantes agem essencialmente na defloculação e dispersão das partículas de cimento, garantindo dessa forma que haja um melhor aproveitamento da água (ALCANTARA *et al.*, 2004).

O concreto fluido (CF) permite a concretagem em regiões com elevada quantidade de armaduras, conforme Figura 1, onde a utilização do vibrador é extremamente difícil, eliminando o risco de exposição do aço e consequente deterioração da estrutura. Embora esteja sendo disseminado por vários países e elevando o seu potencial de utilização, o concreto fluido ainda necessita de estudos, com o objetivo de acrescentar maiores informações e conhecimentos referentes às propriedades mecânicas e da microestrutura do concreto fluido produzido com finos e adições minerais pozolânicas (ARAÚJO *et al.*, 2008).



**Figura 1 - Lançamento de CF em estrutura densamente armada.**



Fonte: Tutikian, 2004.

A aplicação do CF se dá com facilidade sendo considerada superior em relação ao concreto convencional (CC). A execução da concretagem ocorre com maior velocidade, necessitando de um número menor de trabalhadores envolvidos, devido à facilidade de escoamento. Esse tipo de concreto possui uma característica relevante que é o fato de poder ser produzido nas mesmas centrais fazendo uso dos mesmos materiais empregados na produção do CC tais como, cimento, areia, brita, acrescentando-se apenas os aditivos e adições.

Em vários países o CF vem sendo bastante utilizado, principalmente no Japão e países da Europa. No Brasil a utilização do CF tem se dado de modo inicial, com poucos registros de aplicação, em decorrência de vários motivos, tais como, falta de normalização de procedimentos para a realização dos ensaios, falta de confiabilidade nos métodos de dosagem existentes, elevado custo dos aditivos utilizados como superplastificante e modificadores de viscosidade e o resumido conhecimento do comportamento do CF com relação às suas propriedades.

Diversos estudos estão sendo desenvolvidos com novos materiais no intuito de obter o CF, de modo a permitir cada vez mais viabilidade, embora possua alguns fatores limitantes, dentre eles a necessidade de mão de obra especializada decorrente da dificuldade de obtenção do CF na obra, necessita de um controle tecnológico maior durante a sua aplicação em relação ao CC, precisa de cuidados especiais com o transporte, e possui menor tempo disponível para a utilização comparado ao CC.

### 2.2.1 Resíduos

Os resíduos sólidos são aqueles de origem industrial que resultam de atividades de uma comunidade,

são materiais resultantes de processo de produção, transformação, utilização ou consumo, oriundos de atividades humanas, de animais, ou resultante de fenômenos naturais, cuja destinação deverá ser ambientalmente e sanitariamente adequada<sup>1</sup>.

Segundo a NBR 10004:2004 são classificados em 3 tipos: Tipo I (resíduos perigosos); Tipo II A (resíduos não inertes) e Tipo II B (resíduos inertes).

A preservação do meio ambiente atualmente é uma preocupação mundial. A construção civil, apesar de seus reconhecidos impactos socioeconômicos para o país, como elevada geração de empregos, renda, viabilização de moradias, infraestrutura, estradas e outros, ainda necessita de um gerenciamento para destinação de seus resíduos sólidos, principalmente nos centros urbanos.

O gerenciamento ideal dos resíduos produzidos pelas empresas, incluindo a sua redução, reutilização e reciclagem, torna o processo construtivo mais rentável e competitivo. Nesse contexto, surgem as adições minerais ao concreto.

As adições minerais são materiais silicosos finamente divididos, utilizadas no concreto em quantidades relativamente grandes (METHA e MONTEIRO, 2008). O uso de adições minerais no concreto data de 1500 a.C. na Grécia, onde se utilizavam materiais de origem vulcânica, retirados de erupções ocorridas na ilha de

---

<sup>1</sup>Júnior, 2005.

Santorini, essa técnica foi difundida por todo o império Romano, tendo sua principal fonte de cinzas vulcânicas o monte Vesúvio (ISAIA, 2011).

Como as cinzas vulcânicas não eram um material de fácil acesso em todos os lugares, surgiram outros tipos de adições minerais, como a argila calcinada.

Com o desenvolvimento tecnológico, surgiram outros tipos de adições. Hoje em dia são utilizados resíduos de indústrias, que seriam descartados gerando a contaminação do solo e fontes de água.

O uso de adições minerais na indústria do cimento e do concreto, substituindo parcialmente clínquer ou cimento, não só reduz o impacto ambiental causado pelos resíduos de outras indústrias quando jogados em depósitos sem destino adequado, mas também reduz o volume de extração de matérias-primas por parte da indústria da construção civil, preservando os recursos naturais limitados<sup>2</sup>.

A inserção de adições minerais na fabricação de cimentos ou concretos pode minimizar o consumo de energia, pois esses produtos não só frequentemente diminui a quantidade de energia necessária para a produção dos mesmos, como também reduzem as distâncias de transporte de matérias-primas.

### **2.3 Concreto Fluido com Resíduos do Beneficiamento do Mármore e Granito**

O concreto fluido é produzido com alguns materiais que estão presentes na produção do concreto convencional, para explicitar as maiores diferenças, na composição do CF utiliza-se mais finos e aditivos do que no CC.

As adições minerais inertes e reativas são utilizadas habitualmente para manter e melhorar a trabalhabilidade, regulando o teor de cimento e reduzindo o calor de hidratação, de acordo com exigências reológicas especiais do CF.

As adições classificam-se em tipo I e tipo II, a depender da sua reatividade. As adições inertes classificadas de tipo I proporcionam uma ação física, elevando a compacidade da mistura. As adições do tipo I são representadas pelos filers calcários e quartzos moídos, entre eles o resíduo oriundo do beneficiamento de

---

<sup>2</sup>Isaía, 2011

rochas, comumente chamado de resíduos de mármore e granito. As adições reativas classificadas como de tipo II são representadas pela sílica ativa, casca de arroz, metacaulim, cinza volante e escória de alto forno. Esse tipo de adição colabora com a formação de hidratos, sendo aplicados em substituição ao cimento em teores de até cerca de 30% (WATANABE, 2006).

A utilização das adições no CF é de grande importância para elevar a estabilidade e a capacidade de fluidez do concreto, diminuindo o contato de fricção entre os agregados, elevando a viscosidade e a resistência à segregação através da formação de uma granulometria contínua, em que todos os vazios ocasionados pela presença dos agregados são devidamente preenchidos. A inserção de um ou mais materiais finos de diferentes morfologias e distribuição granulométrica tem melhorado a fluidez, a coesividade e a estabilidade do CF (SONEBI *et al.* 2003).

A inserção de finos na mistura cimentícia diminui a quantidade de superplastificante necessária para que seja obtida a mesma fluidez, quando comparada aos concretos sem adição de finos. A utilização de materiais finos como fíler de pedra calcária, escória de alto forno ou cinza volante melhora a distribuição granulométrica e o empacotamento das partículas, garantindo uma maior coesão (SONEBI *et al.*, 2003).

Em concretos de cimento Portland, as adições minerais usadas acarretam mudanças relevantes na estrutura da pasta de cimento tais como, aumento da viscosidade da pasta de cimento por ação da redução do fluxo interno de líquidos da mistura que favorece a mobilidade das partículas no estado fresco. Fazendo com que as partículas de agregado graúdo se movimentem com maior facilidade, até adquirirem estabilidade na pasta cimentícia em decorrência do aumento nas forças de atração das partículas de menor dimensão presentes na pasta, propiciando a conservação da uniformidade da composição e uma melhor capacidade de escoamento do concreto (SONEBI *et al.*, 2003).

A atuação eficiente das adições depende da forma, granulometria, área e textura superficial e da reatividade das partículas. As partículas angulares, alongadas e rugosas necessitam de uma maior quantidade de pasta comparada às partículas lisas (WATANABE, 1998).

A indústria beneficiadora de rochas é uma das grandes causadoras de impactos ambientais desde a fase de exploração até o seu beneficiamento. Estima-se que cerca de 30% do bloco em forma de resíduo são depositados em lagoas de decantação, constituído de pó de rocha, água, gralha entre outros. A utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito em uma matriz cimentícia surge como alternativa de minimizar a degradação ambiental, oriunda da disposição deste material em locais inapropriados e da exploração das reservas naturais, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável na construção civil (MOURA *et al.*, 2002).

A redução da granulometria das partículas de resíduos de serragem do mármore e granito, modificou consideravelmente algumas propriedades do CF, principalmente no estado fresco, tais como: redução do volume de pasta e aumento da dosagem ótima do superplastificante. A incorporação de finos passantes em peneiras com malha de abertura 300 µm proporcionou uma relevante melhora na coesão da mistura em relação à incorporação de finos passantes na peneira 600 µm (CAVALCANTI, 2006).

#### **2.4 Concreto Reforçado com Fibras**

O concreto simples, não armado, apresenta um comportamento frágil, com baixa resistência à tração e baixa capacidade de alongamento na tração. As fibras descontínuas, distribuídas aleatoriamente, desempenham um papel importante que é o de interceptar as fissuras, que surgem no concreto em decorrência da ação de cargas externas, de mudanças na temperatura ou ainda da umidade do meio ambiente.

As fibras têm sido consideradas como solução para alguns problemas comuns encontrados em obras de concreto. Apesar das fibras proporcionarem a melhora de algumas características ou propriedades do concreto, a sua utilização não impede a formação de fissuras.

No ano de 1960 foram utilizadas fibras de asbestos misturadas ao cimento. A partir dessa época têm sido aplicadas ao concreto outros tipos de fibra tais como: polipropileno, aço, vidro, carbono, nylon, celulose, polietileno, acrílico, sisal, madeira e etc. As fibras mais utilizadas são as de aço e as de polipropileno.

Alguns tipos de fibra possuem o módulo de elasticidade maior que o do concreto e outras possuem o módulo de elasticidade menor. A incorporação de fibras na matriz cimentícia tem garantido certa ductilidade após a fissuração. Caso as fibras apresentem-se satisfatoriamente resistentes, com boa aderência à matriz cimentícia, e com um teor elevado, provavelmente elas trabalharam de forma a impedir a propagação de fissuras e conservaram pequena a abertura das fissuras, possibilitando ao CRF resistir a tensões de tração bem elevadas, com alto nível de deformação no estágio pós-fissuração.

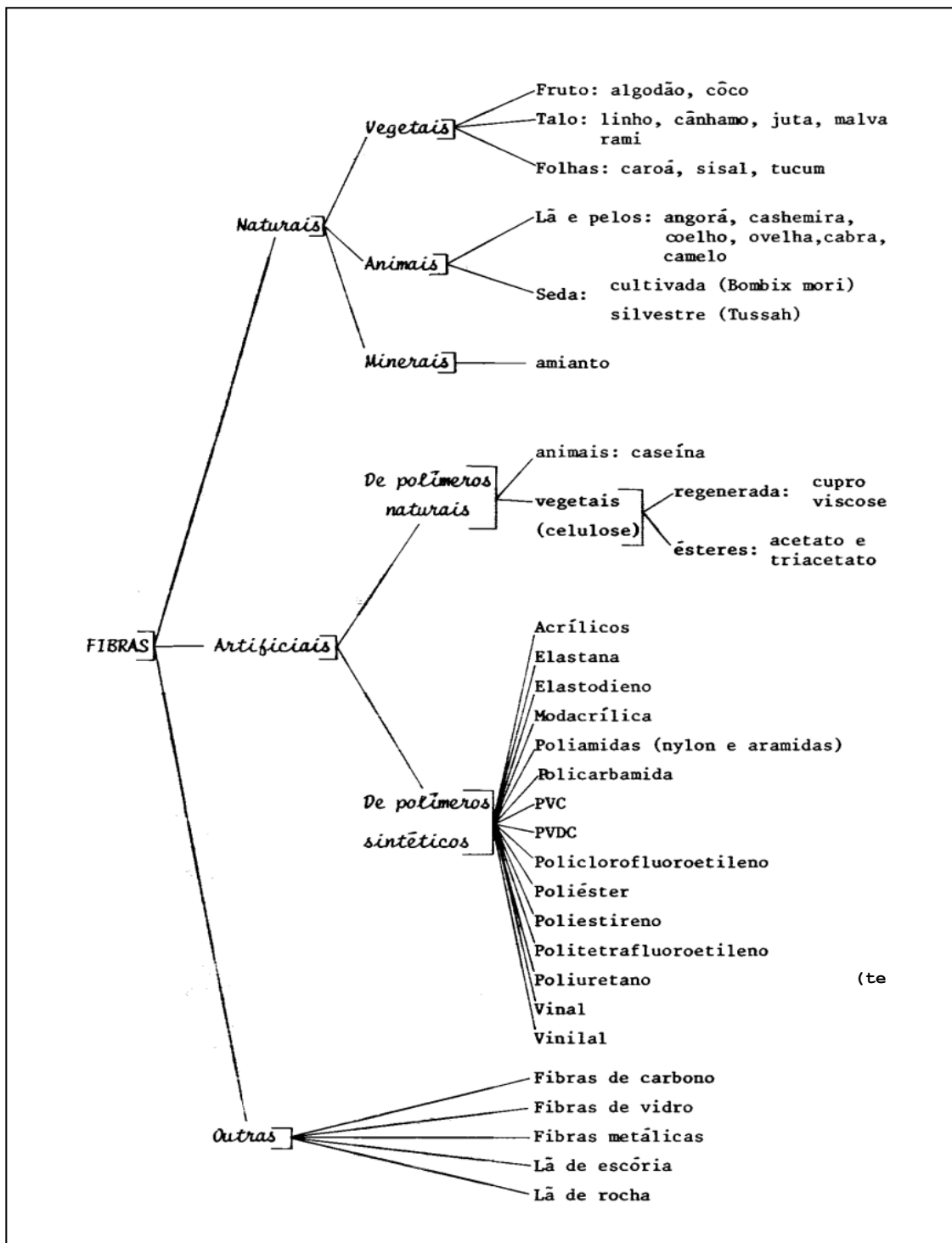
### 2.3.1 Tipos de fibras

Fibra é um material fino, fibrilado e alongado. As fibras são responsáveis pela manutenção do tecido dos seres vivos, portanto são facilmente encontradas na natureza. Elas podem ser sintéticas, artificiais ou naturais, podendo ser empregadas para vários fins, a depender da sua procedência e composição. As fibras naturais estão prontas e dispostas na natureza, enquanto que as artificiais são fabricadas pelo homem por meio de materiais oriundos da natureza, enquanto as sintéticas são fabricadas através de produtos ou materiais químicos.

Há uma enorme diversidade de fibras que são aplicadas ao concreto. Algumas destas fibras são produzidas e comercializadas em tamanhos, formas e materiais diferentes como as fibras de aço, vidro, borracha, polipropileno, evidenciando altos e baixos módulos de elasticidade.

As matrizes cimentícias possuem um comportamento frágil quando submetidas à tração, o que levou ao surgimento dos materiais compósitos, onde as fibras são adicionadas para resistir aos esforços de tração, que a maioria dos elementos estruturais estão submetidos direta ou indiretamente (CUNHA, 2007).

Figura 2 – Classificação das Fibras



Fonte: Bernardi, 2003.

- Fibras Naturais

As fibras naturais se dividem em minerais, vegetais e animais. Sendo as de origem vegetal e animal as mais importantes, pois as de origem mineral têm uma aplicação industrial limitada (MANO, 1999). Elas são formadas por micro fibras unidas por uma substância cimentante denominada lignina (CEPED, 1982).

A inclusão de fibras naturais em matrizes cimentícia, diminui sua resistência à compressão em cerca de 10% a 30% dependendo do tipo, comprimento e fração volumétrica de fibra, assim como o tipo e traço da matriz. A vantagem de aplicar fibras a matriz, é que essas confinam o material e retardam a propagação da primeira fissura, elevando a tenacidade pós-carga de pico (TOLEDO FILHO, 1997).

- Fibras artificiais

Inicialmente as fibras artificiais foram desenvolvidas com a finalidade de copiar e melhorar as características e propriedades das fibras naturais.

As fibras artificiais podem ser divididas em dois tipos: as provenientes de polímeros naturais e as de polímeros sintéticos. Polímero significa um elemento composto de muitas partes, ou seja, um elemento composto pela repetição de uma unidade molecular pequena, chamada de monômero, ele pode ser constituído pela repetição de um ou mais tipos de monômeros (BERNARDI, 2003).

Os polímeros naturais como os hidrocarbonetos, a proteína e os ácidos nucléicos, são encontrados na natureza.

Atualmente, os químicos conseguiram fabricar polímeros sintéticos utilizados para a fabricação de objetos plásticos, fibras sintéticas, borrachas sintéticas, tintas, vernizes e adesivos.

As fibras sintéticas são aquelas fabricadas pelo homem, sendo as poliméricas constituintes do grupo das fibras artificiais.



- Borracha

Um pneu é produzido, basicamente, com uma mistura de borracha natural e de elastômeros (polímeros com propriedades físicas semelhantes às da borracha natural), também chamados de "borrachas sintéticas".

Muitos são os tipos de pneus devido a sua aplicação em diferentes veículos. Os mais comuns, e em maior quantidade, são os pneus para automóveis, bicicletas, etc. Também são fabricados pneus especiais para aviões.

No processo de recauchutagem, o pneu é submetido a uma raspagem mecânica através de cilindros metálicos. Durante este procedimento é gerada uma "nuvem" de borracha que distribui pelo piso da empresa reconcondicionadora e nas áreas próximas do local onde está ocorrendo o processamento.

- Polipropileno

O polipropileno é um termoplástico originado do monômero chamado propileno (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>). Ele é um polímero semicristalino que possui uma densidade aproximadamente de 0.90-0.91g/cm<sup>3</sup> e índice de refração de 1.45. A sua temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão estão em torno de -18°C e 165°C, - 12 - respectivamente. Como é um polímero com alta cristalinidade, a sua resistência mecânica e a sua dureza são relativamente boas (CALISTER, 1997).

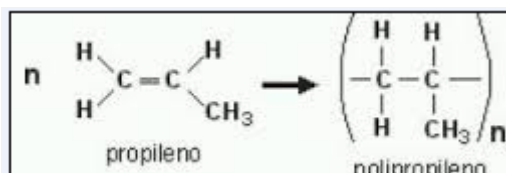
O polipropileno é um material muito utilizado na indústria devido a sua facilidade de produção, boas características mecânicas e sua inércia química, sendo possível sua aplicação mesmo em meios corrosivos (TANCREZ *et al.*, 1994).

Ele é extensivamente usado em embalagem, sacaria, piso tipo carpete, seringa de injeções descartáveis, peças automotivas, carcaças de eletrodomésticos e brinquedos.

As propriedades do polipropileno, cuja fórmula química está sendo apresentada abaixo na Figura 3, dependem muito da sua morfologia cristalina, desenvolvida durante a sua moldagem. Assim como a morfologia, o peso molecular, distribuição da massa molar e regularidade da cadeia (estereorregularidade) são

definidas na síntese da resina, porém algumas propriedades podem ser influenciadas por cristalização do material.

**Figura 3 - Cadeia carbônica do polipropileno**



Fonte: Reis,2009.

- Outras fibras

#### -Metálicas

As fibras metálicas são elementos descontínuos produzidos em uma grande variedade de formatos, dimensões e até mesmo de tipos de metais (FIGUEIREDO, 2000). Quando adicionadas ao concreto, dificultam a disseminação das fissuras devido ao seu elevado módulo de elasticidade. Pela capacidade portante pós-fissuração que o compósito apresenta, as fibras permitem uma reorganização de esforços no material mesmo quando utilizadas em pequenas quantidades (FIGUEIREDO, 2000).

As fibras metálicas mais utilizadas são as de aço. Dependendo do meio onde estão introduzidas podem apresentar problemas relacionados à corrosão, para diminuir essa incidência a técnica utilizada é o banho de níquel (TAYLOR, 1994).

Na maior parte dos estudos científicos aplicam-se a fibra de aço, possivelmente por possuir maior quantidade disponível em comparação com as outras (ACCETTI e PINHEIRO, 2000).

A fibra de aço é aplicada principalmente para conter a fissuração, em casos especiais a armadura principal pode ser substituída pela fibra, como no caso de pisos e aduelas. Estas fibras podem ser usadas em pavimentos, túneis, lajes de edifícios, assim como em recuperação de estruturas.

### -Carbono

As fibras de carbono são caracterizadas por serem leves, possuírem alta resistência e elevada rigidez. O seu módulo de elasticidade e alta resistência dependem do grau de orientação das fibras.

Todas as fibras de carbono são produzidas através da pirólise de fibras orgânicas em uma atmosfera inerte. A temperatura desse processo pode variar entre 1000° a 3000°C. Temperaturas mais altas geralmente conduzem à fibras com maior módulo de elasticidade. Somente três matérias-primas alcançaram importância na produção comercial de fibras de carbono. São elas: rayon, poliácridonitrila e piche (SHWARTZ, 1984).

### -Vidro

A fibra de vidro é um produto sintético mineral, incombustível e resistente à ação de ácidos e solventes que não absorvem umidade e não variam sua dimensão com a mudança de temperatura, porém é pouco flexível. Desenvolvido a partir de 1931 encontra aplicação na fabricação de carrocerias para automóveis, vasilhame em geral e como isolante térmico e acústico (lã de vidro) (ENCICLOPÉDIA BARSA, 1993).

A adição dessas fibras resulta compósitos que possuem boas propriedades acústicas e térmicas. As misturas de cimento com fibra de vidro são empregadas para exaltar essas propriedades térmicas, sendo particularmente apropriadas a aplicações de proteção ao fogo. Uma maior durabilidade é apresentada para os compósitos reforçados com esse tipo de fibra (BERNARDI, 2003).

## **2.5 Adição de Fibras de Borracha em Materiais Cimentícios**

Em pesquisa realizada por Eldin e Senouci (1992), inicialmente o resultado obtido foi que o uso de resíduo proporcionou ao concreto uma queda em suas propriedades. A borracha de pneu como agregado em concreto foi aplicada em substituição ao agregado miúdo, por borracha com diâmetro de 1mm, e ao agregado graúdo por borracha com diâmetro de 38, 25, 19 e 6mm. Após essas substituições constatou-se uma redução da trabalhabilidade, além de uma queda nas resistências

à compressão e à tração. A perda dessas propriedades mecânicas está associada à falta de aderência entre a superfície da borracha e a matriz de cimento.

Em outra pesquisa realizada por Eldin e Senouci (1992) o concreto com adição de borracha de pneu moído como agregado apresentou de 25% a 85% de perda na resistência mecânica, essas perdas podem ser minimizadas em substituição ao agregado miúdo.

Rostami *et al.*(1993), constataram que os concretos em que o agregado graúdo foi substituído de 0 a 100% por borracha de pneu apresentou falta de resistência à compressão devido as impurezas incrustadas na borracha. Para combater essa limitação os autores aplicaram um tratamento superficial do resíduo, com o intuito de aumentar aderência da borracha com a matriz cimentícia.

Quando foi utilizado um teor 10% de borracha tratada com  $\text{CCl}_4$  (Tetracloro de Carbono) este concreto apresentou uma redução de 10% na resistência à compressão em relação ao concreto convencional. Adicionando ao concreto 10% de borracha tratada com água, essa diminuição foi de 27% e sem tratamento foi de 46% (Rostami *et al.*,1993).

Topçu (1995) adicionou ao concreto partículas grandes de borracha e os resultados referentes às propriedades mecânicas não foram satisfatórios no que se refere à resistência a tração. A adição de borracha ao concreto elevou a capacidade de absorver energia plástica, permitindo que o material sofresse alta deformação antes de sua ruptura. Ele observou que a utilização de borracha com granulometria maior prejudicou as propriedades mecânicas mais do que quando se utilizou a borracha com uma granulometria menor.

Topçu (1997) aplicou as partículas de borracha em substituição aos agregados de concreto e verificou um acréscimo no índice de fragilidade para adição de 15% de borracha e uma tendência de redução no índice de fragilidade para inserção de borracha nas proporções de 30 e 45%. A redução do índice de fragilidade constitui uma maior deformação do concreto antes da ruptura.

Posteriormente Toutanji (1996) analisou o efeito causado ao concreto com a substituição de agregados minerais graúdos por lascas de borracha de pneu. As

substituições por agregados minerais foram feitas nas proporções de 25, 50, 75 e 100%. Foi observado que a redução na resistência à compressão é o dobro da redução da resistência à flexão e que o concreto passou a apresentar ruptura dúctil e não mais frágil, proporcionando grande deformação antes da fratura.

Raghavan e Huynh (1998) incorporaram resíduos de borracha em argamassa resistente, com cimento e areia, e através de microscopia eletrônica em corpos-de-prova de argamassa ensaiados por flexão, demonstraram que a ruptura ocorreu na interface entre a borracha e a pasta de cimento, devido à fraca aderência entre estes materiais. Apesar disso, a borracha incorporada à argamassa foi capaz de evitar a propagação de pequenas fissuras o que permite que o concreto com adição de borracha seja capaz de absorver carregamento após a ruptura.

Avaliando as propriedades mecânicas de argamassa a base de cimento e borracha de pneu, Raghavan *et al.* (1998) usaram partículas de borracha com 2mm de diâmetro, sem qualquer tratamento e nas proporções 5, 10 e 15 % verificou-se que a adição da borracha resultou numa redução da resistência à flexão, isso diretamente influenciada pela quantidade de borracha adicionada. Observou-se nos ensaios de fratura que as partículas de borracha foram arrancadas da matriz de cimento, indicando adesão pobre.

Li *et al.* (1998) analisaram as propriedades do concreto com partículas de borracha de pneus. Os pesquisadores aplicaram borracha sem tratamento, recoberta com polímero solúvel derivado de celulose e recoberta com pasta de cimento. As partículas de borracha possuíam diâmetro máximo de 2,5mm e teor de 10%. Os melhores desempenhos foram observados nas amostras com borracha recoberta com pasta de cimento.

Khatib e Bayomy (1999, *apud* FREITAS, 2007) investigaram a influência da forma do resíduo e da metodologia utilizada para realização do ensaio de abatimento do tronco de cone, de acordo com as recomendações da norma brasileira NBR 7223 (1992). Verificaram que quanto maior o teor de borracha adicionada, menor o abatimento obtido, para 40% de substituição o abatimento apresentado foi próximo à zero. As amostras com adição de borracha apresentaram pior abatimento.

Em estudo da adição de fibras de borracha ao concreto, Accetti e Pinheiro (2000, *apud* FREITAS, 2007) observaram que as fibras atuam como barreiras impedindo o desenvolvimento das fissuras. No momento do endurecimento da pasta, as fibras de borracha interrompem as microfissuras e impedem seu avanço, evitando um surgimento prematuro de fissuras.

Para que não haja perda significativa na resistência do concreto, a adição de fibras de borracha deve ser feita em substituição ao agregado miúdo da mistura do compósito (AKASAKI *et al.*,2001, *apud* FREITAS, 2007).

Nirschl *et al.* (2002) pesquisaram a inserção de fibras de borracha em diferentes granulometrias ao concreto. Verificaram que as fibras de 0,8 a 2,38mm proporcionaram propriedades mecânicas com valores superiores ao concreto contendo fibras com tamanho inferior as fibras estudadas por ele.

A fragilidade e a sensibilidade a fissuras que o concreto apresenta devido à retração foi objeto de estudo para Turatsinze (2005). O pesquisador comparou o desempenho das fibras de borracha com o desempenho de fibras de aço que são usadas para impedir a propagação das fissuras. Ele verificou que a borracha não possui a mesma eficiência das fibras de aço, mas pode ser utilizada de maneira satisfatória quando se faz necessário um material de alta resistência ao surgimento de fissuras.

Com o intuito de verificar a variação do índice de consistência (IC) no concreto com incorporação de fibras de borracha, Martins e Akasaki (2005) produziram concretos dosados com diferentes proporções, mantendo constantes a relação água-cimento e a dosagem de aditivo. Os resultados mostraram que o IC diminui de acordo com o aumento da quantidade de fibras incorporadas à matriz do compósito.

Martins e Akasaki (2005) analisaram a absorção e a resistência à flexão do concreto com adição de borracha (CAB). Nesse estudo constatou-se que o CAB possui absorção maior do que o concreto convencional e que a resistência à flexão reduz com a adição de fibras de borracha. Observaram também que o CAB apresentou maior absorção de energia com o aumento da quantidade de fibras, pois

os corpos de prova foram capazes de resistir a cargas mesmo após a primeira ruptura para todos os traços onde foram incorporadas as fibras médias.

Martins (2005) pesquisou a influência da granulometria das partículas (finas, médias e graúdas) de borracha. Observou que a borracha fina ocasiona menor prejuízo à resistência mecânica do concreto do que as demais. Verificou ainda que a incorporação do resíduo de borracha reduziu a trabalhabilidade do concreto.

Marques *et al.* (2005) também pesquisaram a utilização de borracha com diferentes granulometrias. Comparando as borrachas com e sem tratamento superficial a base de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Os resultados revelaram que as propriedades mecânicas apresentaram pouca variação para as partículas com e sem tratamento. A absorção de água, verificada foi menor no concreto contendo partículas mais finas do que no concreto contendo as partículas maiores de borracha, independente de passarem ou não por um tratamento inicial.

Mosca *et al.* (2005) estudaram dosagens de concreto com a inserção de borracha em substituição aos agregados miúdo e graúdo em teores de 1,2,3,4,5 e 6%. A utilização da borracha vulcanizada ocasionou perdas de resistência à compressão de 9, 23, 39, 40, 68 e 75%, respectivamente.

Marques *et al.* (2005) verificaram que para manter a resistência constante com a adição da borracha foi necessário elevar o consumo de cimento, diminuindo o fator *a/c*. Eles demonstraram que a quantidade de ar incorporado ao concreto aumentou com a adição do resíduo oriundo da recauchutagem.

O desgaste superficial do CAB foi verificado através do ensaio de abrasão concluindo que o desgaste do concreto é o mesmo quando incorporado em seu volume 10% de borracha ou sem adição de borracha. De acordo com os autores, pode-se considerar que o CAB possui menor resistência à compressão.

Albuquerque *et al.* (2006) estudaram a adição de três diferentes granulometrias, aplicando dosagens de 5 a 25% de borracha em substituição de parte do volume de areia. Eles verificaram ao elevar a quantidade de resíduo no concreto o ar incorporado também aumentava, principalmente quando utilizado partículas de dimensões menores. O aumento do teor de borracha reduziu a

trabalhabilidade do concreto elevando a demanda de aditivo superplastificante. Os valores encontrados para as propriedades mecânicas foram semelhantes, quando comparado ao concreto referência.

## **2.6 Adição de Fibras de Polipropileno em Materiais Cimentícios**

As fibras de polipropileno (FP) têm características mecânicas superiores as de outros polímeros similares. Apresentando excelente resistência à tração e baixo módulo de elasticidade (FÉLIX, 2002).

De acordo com Santiago (2002), a fibra de polipropileno possui elevada temperatura de fusão, na ordem de 165°C, resistência aos álcalis, sensibilidade ao fogo e a luz e baixo custo.

Segundo Aguiar Neto (1996), a resistência à abrasão é adquirida pelo concreto convencional com adição de fibras através da utilização de materiais com alto peso molecular, elevado alongamento e baixa tenacidade. O alongamento e a tenacidade das fibras de polipropileno variam de acordo com modo de produção. As fibras de polipropileno possuem baixa condutividade o que eleva a capacidade de isolamento térmica. No que se refere à inflamabilidade, na ausência de retardantes a chama o polipropileno pode entrar em combustão, mas não apresenta ignição imediata. Porém, quando expostas diretamente ao fogo à chama não se extingue por si própria.

A FP atua em concretos convencionais como um reforço na matriz com maior eficiência nas primeiras horas após o lançamento, ou seja, quando o concreto ainda se encontra no estado fresco, com baixo módulo de elasticidade e resistência. A FP é inerte quimicamente em meios alcalinos, não absorve água da mistura, o que reforça a sua compatibilidade com as matrizes cimentícias (TANESI *et al.*, 1997).

O concreto no estado fresco apresenta um deslocamento de água para fora do bloco, provocado pela evaporação da água ou pela absorção desta por uma região de contato, causando uma retração do bloco. Durante o processo de hidratação do cimento ocorre mudança no volume de pasta devido à redução do volume do sistema cimento/água (NEVILLE, 1997).



O surgimento de fissuras por retração plástica, ou nas primeiras horas, é causado, principalmente, pela rápida saída de água da superfície do compósito, ultrapassando a taxa de exsudação admissível, o que causa a secagem da superfície do bloco (WITTMAN, 1976). Tendo em vista que a exsudação não está restrita apenas a um tipo de concreto e sim a todos os concretos sejam eles convencionais ou especiais.

Segundo Bayasiet *al.* (2002) a FP é tipicamente utilizada como armadura para a retração, reduzindo a propagação de fissuras causadas pela retração do concreto. A presença de FP reduz a migração da água de exsudação para a superfície do concreto fresco. Essa redução é causada pelo bloqueio formado pelas FP nas capilaridades do concreto utilizadas como escapes para a água. A FP diminui a consolidação do concreto, resultando em uma maior retenção no concreto fresco.

A redução da água de evaporação diminui a incidência de retração por secagem livre do concreto e diminui a fissuração devida à retração por secagem, fato que ocasiona a melhoria da resistência à tração nos níveis das microfissuras. Alguns pesquisadores acreditam que a adição de FP atrasa o tempo de início da fissuração e diminui a fissuração por retração plástica em aproximadamente 90% (SOROUSHIAN *et al.*, 1993).

Diversos tipos de fibras de polipropileno são comercializadas, com diversas propriedades mecânicas causadas por diferenças estruturais, como peso molecular. As fibras apresentam geralmente como propriedades mecânicas a resistência à tração entre 550 a 690 MPa, densidade na ordem de  $0,9\text{g/cm}^3$ , alongamento de 15% e módulo de elasticidade de 3400 GPa.

A FP é uma das fibras mais utilizadas, devido à eficácia fornecida pela inserção de FP aos compósitos cimentícios, pela forma econômica e simples de combater a propagação de fissuras no concreto, em especial em peças com maiores áreas expostas a secagem.

O concreto com adição de FP apresenta maior coesão na mistura, favorecendo a utilização de concretos bombeados a grandes alturas. Este tipo de compósito possui elevada resistência ao congelamento, considerado em relação à

durabilidade, equivalente ao concreto com ar incorporado (MONTARDO 2001, *apud* Bernardi 2003)<sup>3</sup>.

Com a adição de FP a retração por secagem no concreto diminui entre 3 e 15%, dependendo do volume de FP e do procedimento de teste utilizado (ZOLLO e IILTER, 1986; GRZYBOWSKI e SHAH, 1990).

Padron e Zollo em 1990, pesquisando concretos e argamassas reforçados com FP, em condições bastante solicitadas e rigorosas, observaram que a redução na quantidade de fissuras em relação ao concreto simples variou entre 18% e 23%, enquanto que a retração variou de 52% a 100% em relação ao concreto simples. A amostra com fibras que apresentou a mesma retração do padrão, tinha a quantidade de fissuras expostas menor que a do concreto de referência ou simples cerca de 18%.

Diversos fatores influenciam a eficiência das fibras, como módulo de elasticidade, relação comprimento/dosagem (L/d), e até mesmo as características do próprio concreto, constatando-se que em matrizes mais ricas cuja relação cimento/areia (c/a) é menor, a adição de fibras tem maior eficiência, enquanto que o concreto leve obtém um potencial de redução maior do que o convencional, quando são utilizados teores e tipos idênticos de fibras (BALAGURU, 1994).

## **2.7 Metodologias de Dosagem**

O método de dosagem tem como finalidade definir uma combinação ideal, técnica e econômica, dos materiais constituintes do concreto (AÏTCIN, 2000).

Devido à inexistência de métodos de dosagem para concreto fluido, optou-se pela adaptação de um método de dosagem para CAA, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Os métodos de dosagem utilizados para os concretos convencionais são diferentes dos utilizados para CAA. Para determinar a dosagem de um concreto

---

<sup>3</sup>MONTARDO, J. Tecnologia do uso da fibra de polipropileno na construção civil. Auditório do Sengue. Palestra proferida em 30 out 2001.

algumas exigências devem ser atendidas, como condições de exposições das estruturas, especificações de projeto, materiais disponíveis na região, técnicas de execução e custo (HELENE & TERZIAN, 1992).

Atualmente já existem métodos para CAA conhecidos, desenvolvidos por pesquisadores como: método de Okamura (1995), EFNARC (2002), Gomes (2002) e Tutikian (2004), que serão descritos resumidamente a seguir.

### 2.7.1 Método de Okamura

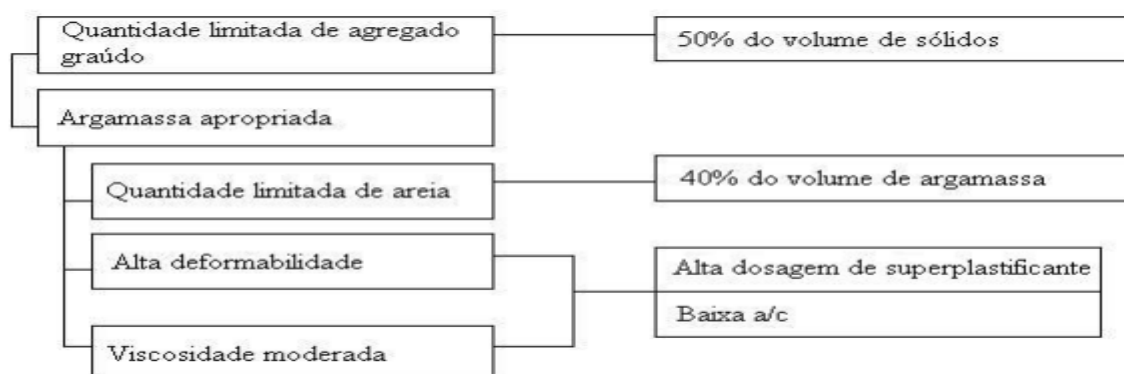
Para proporcionar o aumento da fluidez da pasta ou argamassa e, ao mesmo tempo, elevar a resistência à segregação quando o concreto flui através de barras de armaduras ou áreas restritas, Okamura e Ozawa recomendaram, em 1995, um método baseado na limitação do conteúdo de agregados no concreto, na baixa relação água/finos (a/f) e na utilização de aditivos superplastificantes (OKAMURA e OUCHI, 2003).

O consumo limitado de agregado graúdo no CAA é justificado pelo elevado consumo de energia promovido pela proximidade das partículas desse agregado, onde estas colidem entre si e geram bloqueios próximos a obstáculos. Observa-se que a tensão interna do concreto aumenta devido ao consumo elevado de agregado, já que a energia que o concreto necessita para fluir é usada na estabilização dos agregados presentes no interior da mistura, gerando, novamente, o bloqueio ao passar por obstáculos (OKAMURA e OUCHI, 2003).

A utilização de aditivo plastificante/superplastificante e a baixa relação água/finos são justificadas pela necessidade de obtenção de uma pasta fluída com alta viscosidade, capaz de estabilizar o agregado graúdo em seu interior e transportá-lo durante a passagem por obstáculos. A viscosidade elevada da pasta previne o aumento localizado de tensão interna, promovido pela aproximação das partículas de agregado graúdo (OKAMURA e OUCHI, 2003).

A Figura 4 apresenta o esquema do método utilizado por Okamura e Osawa.

**Figura 4 – Esquema do método utilizado por Okamura e Ozawa para obtenção da auto adensabilidade**



Fonte: adaptado de OKAMURA e OUCHI 2003

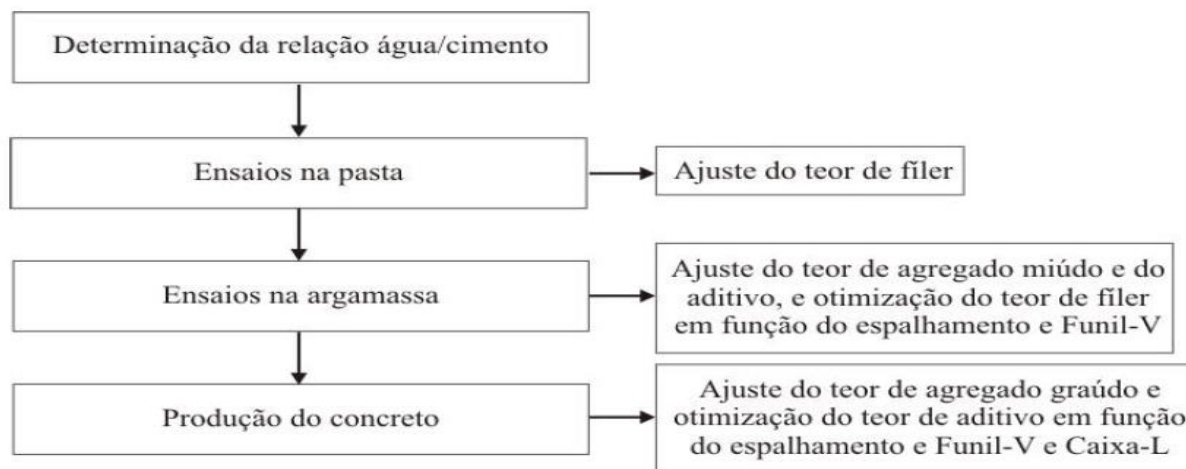
O consumo máximo de agregado graúdo foi limitado em 50% do volume total de agregados, enquanto que o volume de agregado miúdo foi limitado em 40% do volume de argamassa. Alguns valores devem sofrer ajustes para atender às características de fluidez ou auto adensabilidade exigidas. Dependendo das propriedades do cimento utilizado e do aditivo a relação a/c, deve variar entre 0,9 e 1,0 em volume. Para verificar a fluidez ou autoadensabilidade, Okamura indica ensaios como, o *slumpflow* e *V-funil* (CAVALCANTI, 2006).

### 2.7.2 Método Repette-Melo

O método de Repette-Melo foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina para a dosagem de CAA contendo fíler calcário, que é baseado na resistência à compressão solicitada. A relação é determinada em mistura de pastas produzidas pela relação a/c anteriormente estabelecida, de modo que não haja vestígios de segregação ou exsudação nestes compósitos, como pode ser visto na Figura 5.

O volume de agregado graúdo é definido de acordo com o volume total de concreto, de modo a se obter misturas ideais em relação aos ensaios de espalhamento, fluidez e caixa L. Através destes ensaios é promovido o ajuste final do teor de aditivo no compósito.

**Figura 5 – Esquema do método Repette-Melo**



Fonte: Melo, 2005

### 2.7.3 Método EFNARC

De acordo com EFNARC (2002) os materiais utilizados para a produção de concreto autoadensável (CAA) devem, geralmente, cumprir com os requisitos da norma europeia EN 206-1:2007. Os materiais devem se adequar conforme o uso pretendido para o concreto e não devem conter ingredientes prejudiciais em tais quantidades que influenciem a qualidade ou a durabilidade do concreto, ou ainda, que possam causar corrosão do reforço.

O uso do cimento é estabelecido de acordo com a norma EN 197-1:2001 e os agregados devem estar em conformidade com a norma EN 12620:2002. O tamanho máximo dos agregados depende da aplicação e é normalmente limitada entre 12 e 20mm (EFNARC, 2002).

O teor de umidade deve ser cuidadosamente monitorado e deve ser levado em conta, a fim de produzir um CAA de qualidade constante. A adequação do volume de água deve seguir a EN 1008:2003, enquanto que os aditivos utilizados devem cumprir com a norma EN 934-2: 2000 (EFNARC, 2002).

O superplastificante é um aditivo essencial para o CAA, pois fornece a funcionalidade necessária. Também podem ser incorporados, se necessário, outros aditivos como os agentes modificadores de viscosidade. Os aditivos seguem a EN

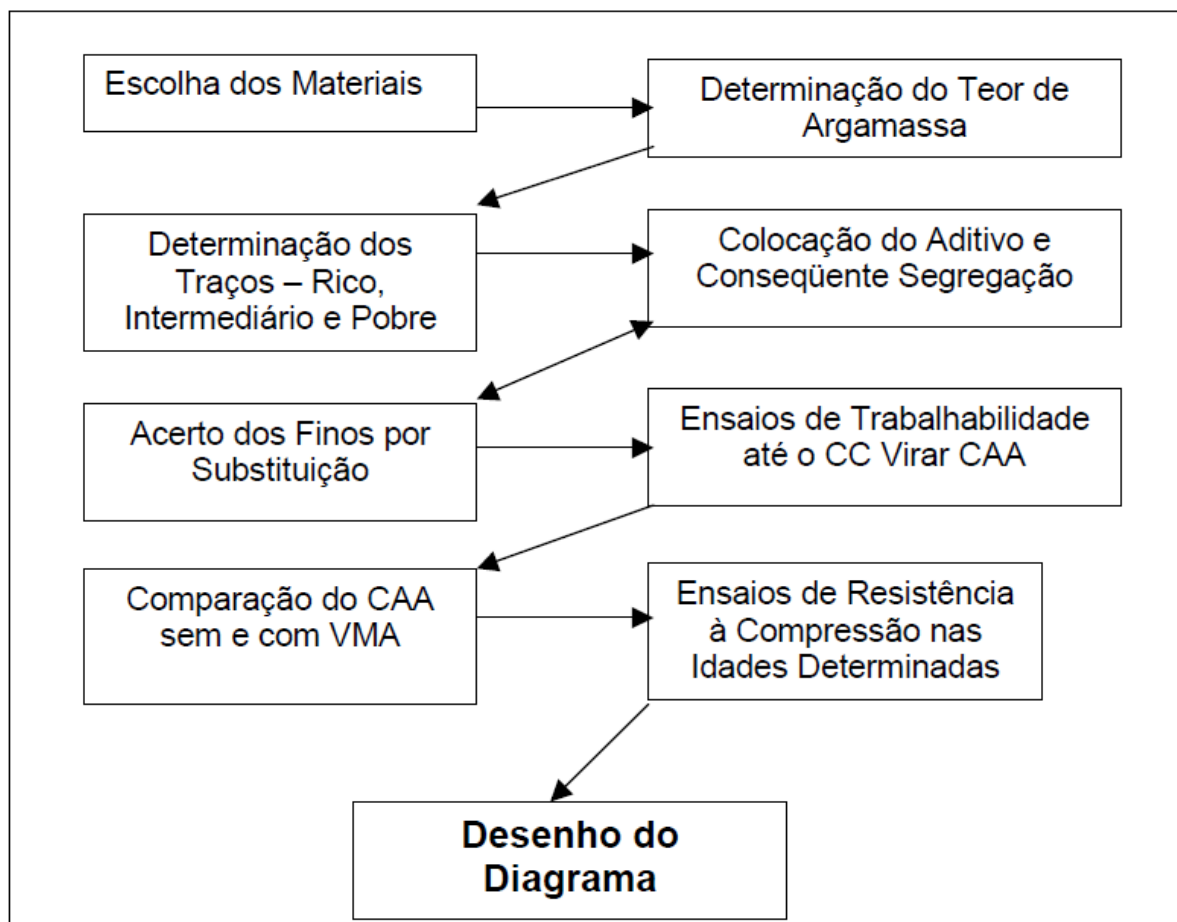
934:2001, mas devem estar em conformidade com os requisitos gerais (EFNARC, 2002).

#### 2.7.4 Método de Tutikian

Baseado no método de dosagem IPT/EPUSP para concretos convencionais descrito por Helene e Terzian (1992), o método proposto por Tutikian (2004) tem como princípio a obtenção de um CAA a partir de um concreto convencional cujo teor ideal de argamassa deverá ser previamente determinado.

A Figura 6 mostra os passos da dosagem proposta por Tutikian, onde primeiramente é feita a escolha dos materiais que possuem condições para desenvolver o melhor CAA, levando em consideração o custo, a disponibilidade e as distâncias aceitáveis para o fornecimento dos componentes. O agregado graúdo deve apresentar um diâmetro máximo como sendo o menor entre 20mm e  $1/3$  do espaçamento entre as armaduras da estrutura real. Em seguida determina-se, experimentalmente, o teor de argamassa sem aditivos ou finos, mantendo constante esse teor até o fim da dosagem do CAA. Os finos devem ser inseridos ao concreto através da substituição em massa. Após a definição dos materiais e do teor de argamassa são escolhidos, no mínimo, três traços bases, um rico, um intermediário e um pobre, para a formulação do desenho do diagrama. Posteriormente, o aditivo superplastificante, juntamente com os materiais finos, são inseridos no compósito, verifica-se a segregação e aplica-se a correção necessária, tornando coeso e fluido ao mesmo tempo.

**Figura 6 – Passo a Passo para dosagem do CAA pelo método de Tutikian**



Fonte: Tutikian, 2004.

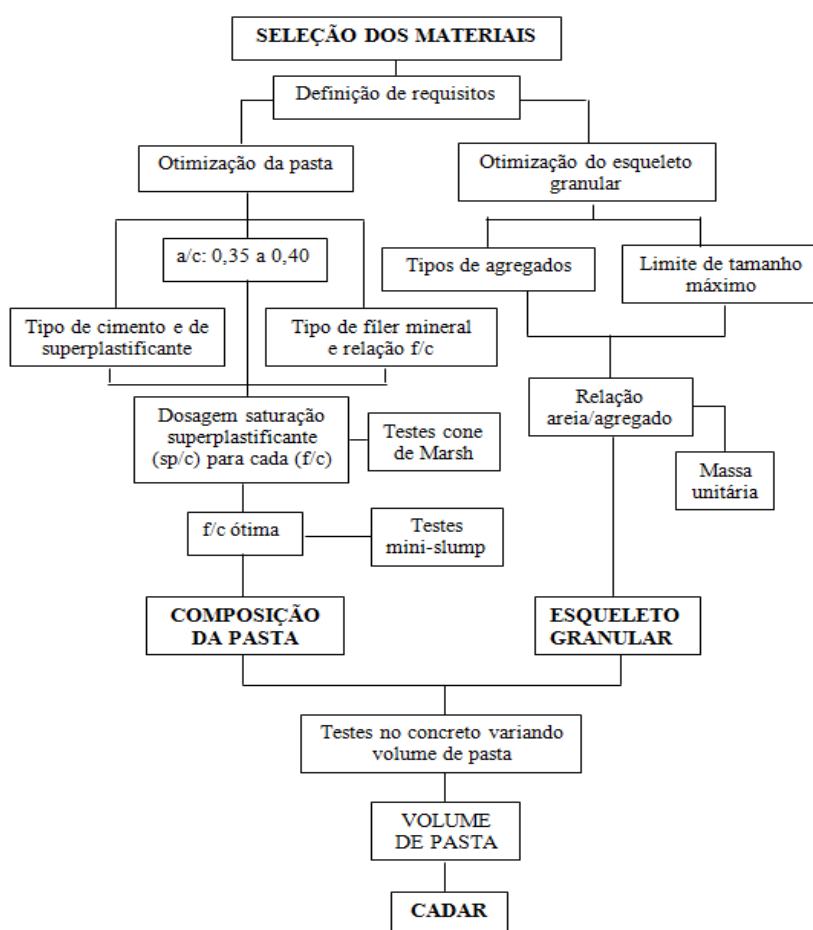
### 2.7.5 Método de Gomes

Esse método apresenta um procedimento de caráter experimental para obtenção da dosagem do concreto auto adensável de alta resistência. Gomes em 2002 propôs um procedimento fundamentado na otimização separada da pasta, do esqueleto granular de agregados, na determinação da dosagem ótima de superplastificante, obtida através da variação da quantidade de superplastificante, mantendo constantes as relações água/cimento ( $a/c$ ) e fíler/cimento ( $f/c$ ); bem como a produção do concreto com a dosagem de superplastificante igual à dosagem ótima da pasta.

É fixada a relação água/finos ( $a/f$ ), a princípio, no limite superior de 0,4, para em seguida ser diminuída, até se alcançar a resistência requerida para o concreto.

Quanto ao esqueleto granular, deverá ser adotado um tamanho característico máximo para o agregado de 20mm. A relação areia/brita (ar/br) é determinada segundo um critério de máxima densidade em seco e sem compactação, no sentido de ser obtida uma mínima quantidade de vazios entre os dois materiais, conforme mostra a Figura 7.

**Figura 7 – Método de dosagem proposto por Gomes**



Fonte: Lisboa, 2004

### 2.7.6 Considerações finais

Devido à escassez de pesquisas na literatura abordando o concreto com os dois tipos de fibra (borracha e polipropileno) simultaneamente, houve a necessidade de realizar o estudo de cada tipo de concreto. A partir desses estudos realizados através das principais abordagens presentes na literatura sobre concreto com fibras de borracha e concreto com fibras de polipropileno, obteve-se os quadros 1 e 2, respectivamente.



**Quadro 1 - Resumo das principais pesquisas de concretos com fibras de borracha**

Ano	Autor	Teor de Borracha (%)	Observações
2005	SANTOS, A. C.	2	Com um teor de 2 % o concreto apresenta características estruturais. Nas placas com maior teor a ruptura foi imediata nos ensaios de resistência a compressão.
2005	LOPES <i>et al.</i>	5	Perda de 44% na resistência à compressão.
2007	FREITAS	5, 10, 15 e 20	O teor de 15% apresentou melhor comportamento em relação ao desgaste superficial.
2010	GRANZOTTO, L.	5, 10 e 15	Quanto maior o teor de fibras inseridas, maior a redução da resistência à compressão. O teor de 5% apresentou melhor desempenho mecânico do concreto.
2010	SEYDELL, M. R. R.	10, 20, 30 e 40	O teor de 10% obteve melhor comportamento mecânico e a medida que se aumenta o teor de borracha os resultados pioram.
	D. E. dos Santos LINTZ, R. C. C.		
2011	ROMUALDO, A. C. A	5, 10 e 15	Os concretos com teor de 5% de fibras obtiveram os melhores resultados no comportamento mecânico em relação à resistência à tração.
	SANTOS, D. E.		

Fonte: Próprio autor

**Quadro2 - Resumo das principais pesquisas de concretos com fibras de Polipropileno**

Ano	Autor	Teor de Fibras de Polipropileno (%)	Observações
1990	GRZYBOWSKI	0,1; 0,25; 0,55 e 1	Melhor desempenho na redução de fissuração foi o teor de 0,25%, havendo uma pequena redução na resistência à compressão.
	SHAH		
2010	GUIMARÃES, D.	0,6 e 1	As misturas com 1% apresentaram melhorias na resistência à tração, elevando a capacidade de absorver mais energia, enquanto que os outros teores não apresentaram melhorias relevantes.
2010	G. Melián	0,2; 0,4; 0,8	Para o teor de 0,2% foi obtida uma resistência à compressão de 31,8 MPa, não apresentando perda significativa na resistência à compressão, reduzindo a fissuração nas primeiras idades.
	G. Barluenga		
	F. Hernández-Olivares		
2011	JÚNIOR, E. S. D.	0,3; 0,5; 0,7 e 0,9 (em volume de concreto)	O melhor comportamento apresentado foi para misturas com 0,7 % de fibras sendo este compósito coeso, fluido e com boa trabalhabilidade.
	ROCHA, L. F. S.		

Fonte: Próprio autor

Pode-se perceber que os estudos desenvolvidos não apresentam utilização dos dois tipos de fibra simultaneamente, sendo estabelecido para verificação das propriedades no estado fresco inicialmente um teor de fibras de 3% para fibras de borracha e 0,35% para fibras de polipropileno.

### **3 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Conforme a Seção 1, a presente pesquisa tem por objetivo analisar a contribuição proporcionada pela produção de um concreto fluido reforçado com fibras de borracha, de polipropileno e adição de resíduos do beneficiamento do mármore e granito, cujo método escolhido para ser aplicado na pesquisa foi o método de Gomes (2002), com o intuito de favorecer contribuição para a análise da influência no comportamento do concreto produzido decorrente da inserção destas fibras numa matriz cimentícia.

Nesta seção são caracterizados os materiais, os equipamentos e o procedimento experimental para a determinação do fator de forma e da fração volumétrica (características físicas) das fibras de borracha e de polipropileno, em corpos-de-prova de concreto com resistência usual, promovendo a discussão dos métodos de ensaios ao qual foi submetido o concreto no estado fresco. Apresentando posteriormente a definição da dosagem. Todos os concretos foram produzidos e ensaiados no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA) do Núcleo de Pesquisas Tecnológicas (NPT) do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

#### **3.1 Características dos materiais**

Os materiais utilizados para produção do Concreto fluido, geralmente, são os mesmos utilizados na produção do concreto convencional, acrescentando o aditivo superplastificante e uma maior fração volumétrica de finos. Para este estudo foram acrescentados também resíduos do beneficiamento do mármore e granito e fibras de polipropileno como adição e fibras de borracha em substituição de parte do agregado miúdo.

##### **3.1.1 Cimento**

Utilizou-se cimento CP II-F32, comercialmente encontrado na região, fornecido em sacos de 50 kg, cuja caracterização química e física foi realizada conforme a NBR 11578: 1997, e os resultados foram fornecidos pelo fabricante para a realização da presente pesquisa. De acordo com o fabricante a densidade do mesmo foi de 3150 kg/m<sup>3</sup>.

Para a produção do concreto fluido o consumo de cimento deve estar numa faixa entre 200 a 450 kg/m<sup>3</sup> para concretos de resistência normal e 400 a 515 kg/m<sup>3</sup> para alta resistência, de acordo com o levantamento realizado por Gettu e Agulló (2003).

### 3.1.2 Agregado miúdo

A parcela de agregado miúdo da mistura é composta com 96,5% de agregado natural. As características desse material são apresentadas a seguir.

#### 3.1.2.1 Areia Natural

Como agregado miúdo natural foi utilizado uma areia lavada média. A caracterização dos agregados determinou as seguintes características físicas: NBR NM 52:2003, NBR NM 45:2000, NBR NM 46:2003, NBR NM 248:2003, estando as mesmas apresentadas no

Quadro 8 e na Tabela 4 abaixo, cuja curva granulométrica da areia encontra-se no Gráfico 3.

#### 3.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a pedra britada de origem granítica, com dimensão máxima de 12,5mm. A caracterização dos agregados determinou as seguintes características físicas: NBR NM 52/2003, NBR NM 45: 2006, NBR NM 46: 2003, NBR NM 243: 2009, cujos resultados apresentam-se no Quadro 3 e na Tabela 1 abaixo e a curva granulométrica da brita encontra-se no Gráfico 1.

**Quadro 3 - Caracterização do agregado graúdo**

<b>Ensaio</b>	<b>Agregado Graúdo</b>
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,71
Massa Unitária - Estado Solto (g/cm <sup>3</sup> )	1,46
Massa Unitária - Estado Compactado (g/cm <sup>3</sup> )	1,52
Absorção (%)	0,80
Diâmetro Característico Máximo (mm)	12,5

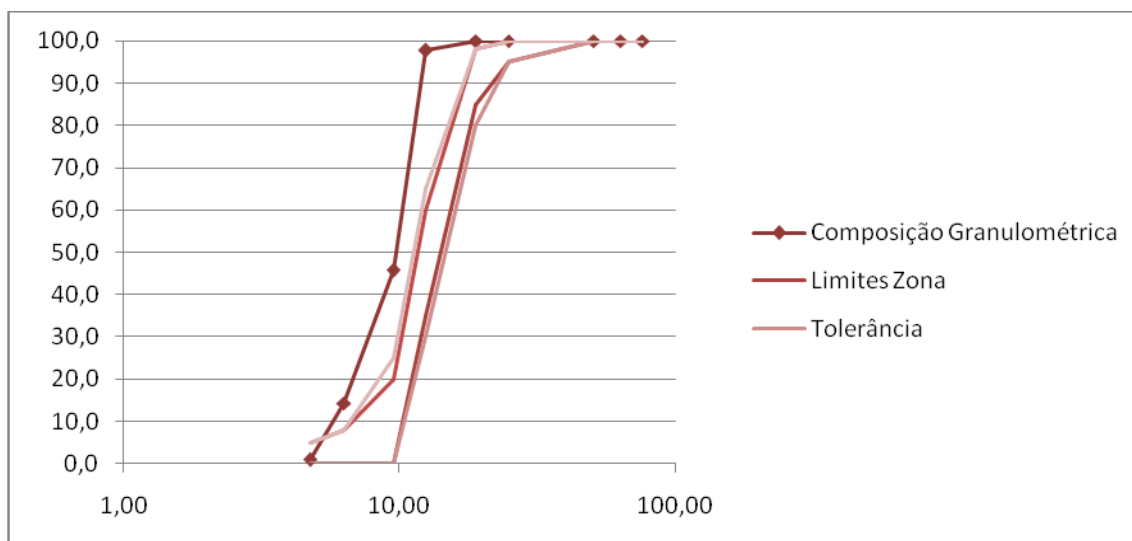
Fonte: Próprio autor

**Tabela 1 - Material retido nas peneiras**

<b>Peneira</b>	<b>1ª Amostra</b>				<b>2ª Amostra</b>				<b>Média</b>	
	<b>massa retida (g)</b>	<b>% retida Ind.</b>	<b>% retida acum.</b>	<b>% Passante</b>	<b>massa retida (g)</b>	<b>% retida Ind.</b>	<b>% retida acum.</b>	<b>% Passante</b>	<b>massa retida (g)</b>	<b>% Passante</b>
76,20	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
63,50	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
50,80	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
25,00	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
19,00	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
12,50	115,0	2,3	2,3	97,7	120,0	2,4	2,4	97,6	117,5	97,7
9,500	2.450,0	49,0	51,3	48,7	2.740,0	54,8	57,2	42,8	2595,0	45,8
6,300	1.710,0	34,2	85,5	14,5	1.440,0	28,8	86,0	14,0	1575,0	14,3
4,75	690,0	13,8	99,3	0,7	645,0	12,9	98,9	1,1	667,5	0,9
Fundo	35,0	0,7	100,0	0,0	66,0	1,3	100,2	-0,2	50,5	-0,1
<b>Massa total (g)</b>	<b>5.000,0</b>				<b>5.011,0</b>					

Fonte: Próprio Autor

**Gráfico 1– Curva granulométrica da brita**



Fonte: Próprio autor

### 3.1.4 Água

Na produção dos concretos e na cura dos corpos de prova a água utilizada foi potável proveniente do sistema de abastecimento de água CASAL, da Universidade Federal de Alagoas – UFAL.

### 3.1.5 Adição mineral

O material utilizado no estudo desenvolvido foi proveniente de tanques de decantação de uma indústria de beneficiamento do mármore e granito do Estado de Alagoas, procedente do polimento e do corte de chapas de mármore e granito.

O resíduo coletado foi submetido a um processo de secagem e em seguida depositado em tonéis com tampa para estocagem. Sendo posteriormente destorroado através do apiloamento, e submetido ao peneiramento com malha de abertura de 0,3mm. O resíduo passante na peneira de 0,3mm pronto para uso foi estocado em baldes com tampa.

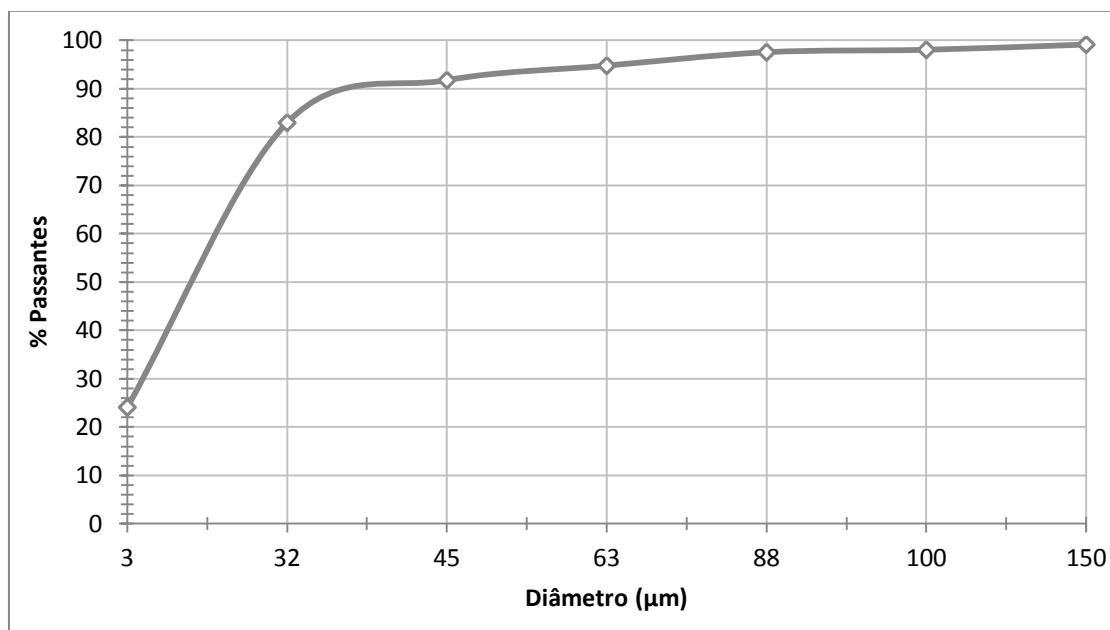
A caracterização do RBMG determinou a massa específica, obtida de acordo com o método normatizado estabelecido para a determinação da massa específica

de solos presente na NM 52: 2009, cujo resultado foi de 2,685g/cm<sup>3</sup>, de acordo com o Quadro 4, e a curva granulométrica do resíduo está apresentada no Gráfico 2.

**Quadro 4 - Características do resíduo utilizado**

<b>Propriedades RBMG</b>	
Abertura da Peneira	# 0,3mm
Tipo	Inerte
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,685
Material retido na peneira (%)	0,558
Granulometria a Laser – Diâmetros (µm) - % passante	
3	24,08
32	82,97
45	91,77
63	94,78
88	97,56
100	98,06
150	99,15

Fonte: Nunes, 2012

**Gráfico 2 – Curva granulométrica do resíduo**

Fonte: Próprio autor

### 3.1.6 Aditivo superplastificante

Na produção dos concretos o aditivo utilizado foi um superplastificante de última geração do tipo policarboxílico, com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade da mistura, sem que houvesse necessidade de alterar a relação água/cimento. As características fornecidas pelo fabricante do aditivo estão apresentadas no Quadro 5. O teor de sólidos adotado foi de 30% estando dentro da faixa especificada pelo fabricante.



**Quadro 5 - Propriedades do Aditivo Superplastificante**

PROPRIEDADES DO SUPERPLASTIFICANTE	
Função principal	Superplastificante 3ª geração
Base química	Policarboxilatos
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,067 – 1,107
Teor de sólidos (%)	28,5 – 31,5
Aspecto	Líquido viscoso
Viscosidade (cps)	95 – 160
Cor	Bege
pH	5 a 7

Fonte: Manual do fabricante

### 3.1.7 Fibra de borracha

O material utilizado nessa pesquisa foi coletado numa empresa reconcondicionadora de pneus localizada na cidade de Maceió, no estado de Alagoas. A coleta foi efetuada de acordo com as prescrições contidas na NBR 10007:2004.

Os pneus no processo de recauchutagem passam por uma raspagem através de um cilindro de aço corrugado, em seguida recebem uma nova capa de borracha. O resíduo proveniente da raspagem se espalha pelo chão da fábrica, sendo posteriormente recolhido através de uma mangueira de sucção e guardado em uma câmara pronto para destinação final.

O processo de beneficiamento ocorreu em duas etapas. Inicialmente foi realizada uma inspeção visual do resíduo de borracha com o intuito de retirar manualmente todos e quaisquer materiais oriundos do processo de raspagem (escórias metálicas provenientes do equipamento de raspagem e fibras de aço da estrutura dos pneus). Finalmente foi realizado o peneiramento com o intuito de separar e descartar as partículas de maior granulometria, ou seja, a parte graúda do material. Para o peneiramento foi utilizada uma peneira com 4,75mm de abertura de malha e todo material passante foi armazenado em reservatórios fechados do tipo bombona.

A borracha utilizada não foi submetida a nenhum tipo de tratamento antes da incorporação no compósito. Esta opção foi escolhida com base nas recomendações de John e Zordan (2001), que sugeriram a minimização dos custos e simplificação dos processos tornando a reciclagem de resíduos na indústria da construção civil economicamente viável.

Após a coleta desse material foram separadas duas amostras, realizando em seguida a análise granulométrica da fibra de borracha, conforme Tabela 3.

**Tabela 2 - Material retido nas peneiras**

Peneira	1ª Amostra		2ª Amostra		Média	
	% Retida indiv.	% Retida acumul.	% Retida indiv.	% Retida acumul.	% Retida indiv.	% Retida acumul.
4,76	31,43	31,43	17,65	17,65	24,54	24,54
2,38	14,29	45,71	5,88	23,56	10,09	34,63
2,00	8,57	54,28	2,94	26,47	5,75	40,38
1,19	22,86	77,14	20,59	47,06	21,73	62,11
0,84	8,57	85,71	23,53	70,59	16,05	78,16
0,59	8,57	94,28	11,76	82,35	10,16	88,32
0,29	5,71	100	17,65	100	11,68	100
Fundo	0,0	100	0,0	100	0,0	100

Fonte: Próprio autor

A fibra de borracha utilizada para a realização deste trabalho foi a passante na #2,38mm e retida na #2,0mm, conforme mostram as figuras 8 e 9.

**Figura 8 - Material retido na peneira de abertura 2,38mm**



Fonte: Santos, 2005

**Figura 9 - Material retido na peneira de abertura 2,00mm**



Fonte: Santos, 2005

### 3.1.8 Fibra de polipropileno

As fibras de polipropileno utilizadas não oxidam e possuem 40mm de comprimento e fator de forma de 90, essas fibras foram inseridas na matriz cimentícia com o objetivo de melhorar a ductibilidade e a durabilidade, controlar a propagação de fissuras.

O método de fabricação das fibras de polipropileno utilizadas é a extrusão que consiste em comprimir a resina, em forma de pasta, através de pequenos retângulos vazados e finíssimos numa peça denominada fieira. Ao sair desses retângulos vazados e finíssimos os filamentos são imediatamente solidificados, esse método

denomina-se fiação. A forma final das fibras se dá através do estiramento, obtido através de dois procedimentos fundamentais; no primeiro procedimento o estiramento é realizado durante a solidificação, e no segundo procedimento o estiramento é realizado após a solidificação. Em ambos os casos a seção da fibra é reduzida, e sua resistência à tração aumentada.

As propriedades das fibras foram fornecidas pelo fabricante e estão sendo apresentadas no Quadro6.

**Quadro6 - Propriedades da fibra de polipropileno**

PROPRIEDADES DA FIBRA DE POLIPROPILENO	
Peso específico	0,92
Absorção	Nenhuma
Módulos de elasticidade	9,5 GPa
Tensão na tração	540 MPa
Ponto de fusão	160°C
Ponto de ignição	590°C
Resistência álcalis, ácido e sal	Alta

Fonte: Manual do fabricante

## 3.2 Composição e Produção das Misturas

### 3.2.1 Pasta

Na dosagem dos materiais constituintes da pasta foram determinados alguns parâmetros: massa de cimento =  $C$  (g), massa de água =  $P_a$  (g), massa de resíduo =  $P_r$  (g), massa de superplastificante sólido =  $P_{sp}$  (g), massa do superplastificante líquido =  $P_{spl}$  (g), massa de água contida no superplastificante =  $P_{asp}$  (g), massa de água adicionada corrigida =  $P_{ac}$  (g), relação água/cimento =  $a/c$ , resíduo/cimento =  $r/c$  e superplastificante sólido/cimento =  $sp/c$ , teor de sólido do superplastificante =  $T_{sp}$  (%), densidade do superplastificante líquido =  $\gamma_{sp}$  (g/ml), densidade da água =  $\gamma_a$  (g/ml), densidade do cimento =  $\gamma_c$  (g/ml), densidade do resíduo =  $\gamma_r$  (g/ml) e o volume de pasta =  $V_p$  (ml). Todos os materiais foram trabalhados em massa, deste modo, as

equações aplicadas para obtenção das dosagens dos materiais no estudo da pasta são:  $P_a = (a/c).C$ ;  $P_f = (f/c).C$ ;  $P_{sp} = (sp/c).C$ ;  $P_{spl} = P_{sp}/(T_{sp}/100)$  e  $P_{asp} = P_{sp}.[(100/T_{sp})-1]$ . A massa de água real adicionada aos outros componentes é corrigida, subtraindo-se a parcela de água já contida no superplastificante. Então, a massa de água corrigida é:  $P_{ac} = P_a - P_{asp}$ . O volume de pasta nos ensaios foi obtido através da equação 1:

$$V_p = \frac{C}{\gamma_c} + \frac{P_a}{\gamma_a} + \frac{P_r}{\gamma_r} + \frac{P_{spl}}{\gamma_{sp}} - \frac{P_{asp}}{\gamma_a} \quad [1]$$

As pastas foram produzidas com o auxílio de uma argamassadeira, com capacidade de 5 litros e duas velocidades,  $62 \pm 5$  rpm (baixa) e  $125 \pm 10$  rpm (alta). Os materiais utilizados tiveram previamente suas massas estabelecidas com o auxílio de uma balança eletrônica digital, de precisão de 0,1g. Esses equipamentos estão apresentados na Figura 10.

**Figura 10 – Equipamentos para a produção da pasta**



Fonte: Lisboa, 2004

A sequência utilizada para a produção da pasta foi a seguinte: o cimento, o RBMG e a quantidade fixa de água (correspondente a  $a/c = 0,40$ ) misturando os mesmos com velocidade baixa em dois períodos de 1 minuto, adotando um intervalo de 30 segundos, após cada período, para realizar a limpeza da cuba; posteriormente, foram adicionados o superplastificante e o restante da água ( $a/c = 0,10$ ), descontando-se a água já contida no superplastificante, continuando o

processo de mistura por 30 segundos em baixa velocidade seguidos de 2 minutos em velocidade alta. Totalizando o tempo de mistura em 4,5 minutos.

### 3.2.2 Definição do esqueleto granular

A relação agregado miúdo/agregado graúdo é estabelecida, com base em um critério de máxima densidade em seco e sem compactação, com o intuito de obter uma mínima quantidade de vazios entre os dois materiais. Este ensaio segue as recomendações da norma ASTM C29/C29M, entretanto houve a necessidade de fazer uma adaptação devido a não compactação dos materiais e também pelo fato de que parte do agregado miúdo (areia) seria substituído pela fibra de borracha.

Este ensaio é realizado através do preenchimento de um recipiente com 5 litros de uma mistura seca com uma determinada relação agregado miúdo/agregado graúdo, variando-se as relações entre os materiais, até encontrar a relação que resultasse em maior densidade e menor volume de vazios entre esses materiais.

Porém como a fibra de borracha seria adicionada ao compósito em substituição de parte do agregado miúdo (areia), fez-se necessário a realização do ensaio de esqueleto granular para estes dois materiais. Realizando-se este ensaio com um percentual maior de areia foi constatado que à medida que ocorria a variação do teor de borracha o volume proposto era preenchido, porém as partículas não promoviam o preenchimento dos vazios. Tal fato pode ser atribuído às diferenças das propriedades constituintes de cada material.

Definiu-se o esqueleto granular para a produção do concreto, levando em consideração a brita e a areia que foram misturadas em um recipiente de 5 litros, variando-se a relação entre os agregados, e pesando-as, de modo a encontrar a relação que apresentasse maior densidade e menor volume de vazios entre esses materiais.

### 3.2.3 Argamassa

Para realizar as dosagens das argamassas foram adicionados alguns parâmetros em relação à pasta: massa da areia =  $P_{ar}$  (g), massa corrigida da areia =  $P_{arc}$ , absorção da areia =  $A_{ar}$  (%), umidade da areia =  $H_{ar}$  (%), densidade da areia =

$\gamma_{ar}$  (g/ml), volume de areia =  $V_{ar}$  (ml), volume de argamassa =  $V_{arg}$  (ml). Todos os materiais foram utilizados em massa. De acordo com as seguintes equações:  $P_{ar} = 2.C$ ;  $V_{arg} = V_{ar} + V_p$ . Na argamassa, a água adicionada aos demais componentes, passa por correções. A massa da água corrigida e da massa de areia corrigida, obedecem as equações 2 e 3, respectivamente. O volume de argamassa foi estabelecido de acordo com a equação 4. Determinando um volume para a argamassa através da equação 4, encontra-se a massa de cimento e posteriormente as massas dos demais constituintes em função da massa de cimento.

$$P_{ac} = P_a - P_{asp} + P_{ar} \times \frac{(A_{ar} - H_{ar})}{100} \quad [2]$$

$$P_{arc} = P_{ar} \times \left(1 + \frac{H_{ar}}{100}\right) \quad [3]$$

$$V_{arg} = \frac{2 \times C}{\gamma_{ar}} + \frac{C}{\gamma_c} + \frac{P_a}{\gamma_a} + \frac{P_r}{\gamma_r} + \frac{P_{spl}}{\gamma_{sp}} - \frac{P_{asp}}{\gamma_a} \quad [4]$$

Os materiais usados na produção da argamassa tiveram suas massas estabelecidas na mesma balança eletrônica digital utilizada para estabelecer as massas dos materiais para a produção das pastas. A argamassa produzida foi misturada na mesma argamassadeira utilizada para a produção das pastas. Seguindo a seguinte sequência de produção: Misturando-se areia seca juntamente com o cimento, o RBMG, adotando-se os mesmos procedimentos utilizados para produzir a pasta, diferenciando-se apenas pela adição da água de absorção da areia.

### 3.2.4 Concreto

As relações a/c, r/c, sp/c e os percentuais de areia e brita, foram estabelecidas previamente, baseando-se em estudos realizados anteriormente (pasta e argamassa). Conhecendo-se o teor de sólido do superplastificante e as

massas específicas, de todos os componentes, foi estabelecido um volume de pasta e em seguida obteve-se a massa de cimento por metro cúbico de concreto, de acordo com a equação 5.

$$C = \frac{V_p}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a/c}{\gamma_a} + \frac{r/c}{\gamma_r} + \frac{fb/c}{\gamma_{fb}} + \frac{fp/c}{\gamma_{fp}} + \frac{\left(\frac{sp}{c}\right) \times \left(\frac{100}{T_{sp}}\right)}{\gamma_{sp}} - \frac{\left(\frac{sp}{c}\right) \times \left[\left(\frac{100}{T_{sp}}\right) - 1\right]}{\gamma_a}} \quad [5]$$

#### Quadro7 – Dosagem dos componentes do concreto

Dosagem dos componentes de 1 m <sup>3</sup> de concreto (kg/m <sup>3</sup> )	
Composição volumétrica	$V_{ar} + V_{br} + V_p = 1 \text{ m}^3$
Parâmetros pré-estabelecidos	$a/c, r/c, sp/c, T_{sp}(\%), V_p, V_{ag}, V_{ar}, V_{br}$
Massa de água	$P_a = (a/c) \cdot C$
Massa de RBMG	$P_r = (r/c) \cdot C$
Massa de superplast. sólido	$P_{sp} = (sp/c) \cdot C$
Massa de superplast. líquido	$P_{spl} = [(sp/c) \cdot 100/T_{sp}] \cdot C$
Massa de água no superplast.	$P_{asp} = (sp/c) \cdot [(100/T_{sp}) - 1] \cdot C$
Massa de cimento:	
	$C = V_p / \{ (1/\gamma_c) + (a/c)/\gamma_a + (r/c)/\gamma_r + [(sp/c) \cdot 100/T_{sp}]/\gamma_{sp} - (sp/c)[(100/T_{sp}) - 1]/\gamma_a \}$
Volume da areia	$V_{ar} = (\%areia/100) \cdot V_{ag}$
Volume da brita	$V_{br} = (\%brita/100) \cdot V_{ag}$
Massa de areia	$P_{ar} = V_{ar}/\gamma_{ar}$
Massa de brita	$P_{br} = V_{br}/\gamma_{br}$
Massa de água corrigida	$P_{ac} = \{ (a/c) \cdot C - P_{sp}[(100/T_{sp}) - 1] + P_{ar}(A_{ar} - H_{ar})/100 + P_{br}(A_{br} - H_{br})/100 \}$
Massa de areia corrigida	$P_{arc} = P_{ar} \cdot [1 + (H_{ar}/100)]$
Massa de brita corrigida	$P_{brc} = P_{br} \cdot [1 + (H_{br}/100)]$

Fonte: Lisboa adaptado, 2004.

Todos os concretos dessa pesquisa foram executados em um misturador basculante com uma capacidade de 120 litros. As misturas foram produzidas obedecendo a seguinte sequência de execução: inicialmente foram misturadas



juntas por 30 s, a areia, a brita e a água de absorção dos agregados; em seguida o misturador foi pausado por 30 s para que o cimento fosse adicionado, reiniciando a mistura dos materiais por mais 30 s, na sequência após os 30 s e sem pausar o misturador parte da água de amassamento foi adicionada (80% da relação a/c), misturando por mais 120 s. Em seguida foi adicionado o aditivo superplastificante juntamente com a parte restante da água de amassamento (20% da relação a/c), misturando por 150 segundos. No caso do concreto reforçado com fibras, após os 150 s anterior, foram inseridas no misturador as fibras de borracha previamente misturadas com as fibras de polipropileno, prosseguindo com a mistura por mais 90 segundos.

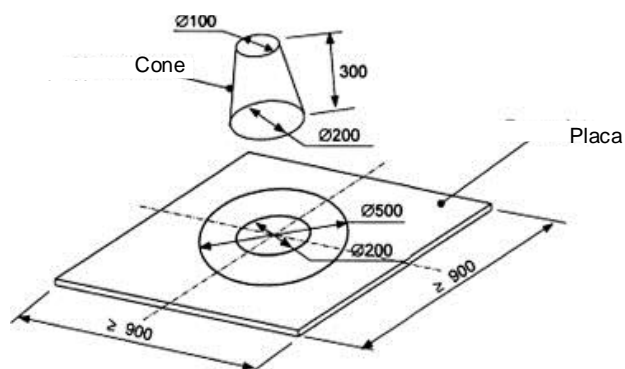
### **3.3 Ensaio no Estado Fresco**

#### **3.3.1 Ensaio de espalhamento (*slumpflow test*)**

Este método também permite observar se o concreto está segregando ou não. Enquanto o concreto vai segregando, vai formando uma pilha central de agregado graúdo conforme o ar vai sendo incorporado e somente a argamassa flui por entre as extremidades, formando assim uma auréola (TUTIKIAN, 2004).

Segundo Tutikian (2004) para a execução desse método faz-se uso de um quadrado de 1000 x1000 milímetros, que seja impermeável à água e que não cause atrito com a mistura, e por um tronco de cone (cone de Abrams) feito de um material com as mesmas características da base. Marca-se um círculo, no centro da base, de 200mm para a alocação do cone. O cone deve possuir uma altura de 300mm, diâmetro interno superior de 100mm e diâmetro inferior de 200mm.

**Figura 11 – Ensaio de Espalhamento**



Fonte: Ali & Al-Tersawy adaptado, 2012

A princípio deve-se umedecer a placa e o tronco, para que eles não absorvam água do concreto durante o ensaio. Por seguinte, coloca-se a placa em um chão nivelado e o tronco de cone sobre o centro da mesma, mantendo-o fixo. São necessários cerca de seis litros de concreto, que deve ser coletado conforme a NBR NM 33:1998. Com o concreto, preenche-se o cone e tira-se o excesso do topo. O adensamento do concreto deve ser feito pela força da gravidade, não se deve interferir com qualquer tipo de compactação. Deve-se, também, remover os excessos que surjam na placa, e logo após ergue-se o cone verticalmente permitindo que o concreto flua livremente. O valor do *slumpflow* é obtido pela média de duas medidas (perpendiculares entre si) do diâmetro do espalhamento do concreto (Tutikian, 2004) e, simultaneamente, marca-se o tempo gasto para atingir 50cm ( $T_{50}$ ).

A Tabela 3 mostra os limites mínimo e máximo de  $T_{50}$  para considerar um concreto auto adensável, segundo vários autores. Os espalhamentos com valores abaixo do limite inferior indicam que o concreto está pouco fluido, enquanto que, se os valores obtidos forem maiores que o limite superior significa que o concreto está muito fluido, e provavelmente, segregando.

**Tabela 3 - Limite de resultados para *slumpflow test* segundo diversos autores**

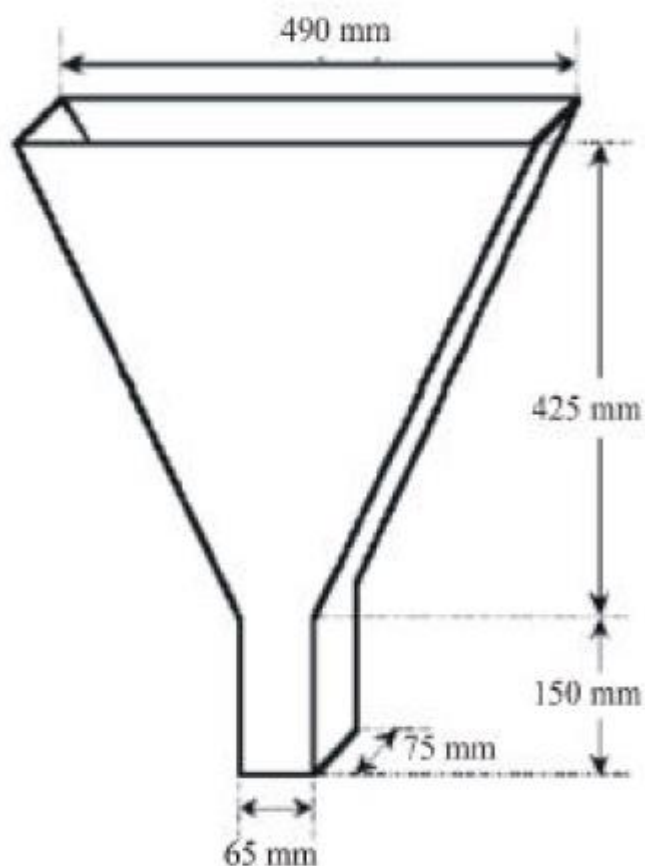
Referências	Tempo (s)	
	Mínimo	Máximo
EFNARC (2002)	2	5
Gomes (2002)	4	10
Gomes <i>et al.</i> (2003a)	3	7
Araújo <i>et al.</i> (2003)	2	5
Rigueira Victor <i>et al.</i> (2003)	3	6
Peterssem (1999)	3	7
Tviksta (2000)	3	7
Coppola (2001)	5	12
Palma (2001)	3	6

Fonte: Tutikian, 2004

### 3.3.2 Ensaio do funil V (*V funnel test*)

Desenvolvido na Universidade de Tokyo, esse método de ensaio mede o tempo gasto para que um determinado volume de concreto (cerca de 10 litros) possa fluir completamente por um funil (Ozawa, *et al.* 1994 *apud* Gomes, 2002).

Para a realização deste ensaio são utilizados os seguintes aparatos: Funil V (Figura 12); Um recipiente com capacidade para 5 litros para despejar a amostra a ser inserida no interior do funil V; um recipiente tipo bandeja com capacidade de 12 litros para receber a amostra despejada de dentro do funil; um cronômetro de precisão de 0,1segundo para mensurar o tempo gasto para o esvaziamento total do funil (LISBOA, 2004).

**Figura 12 – Funil V**

Fonte: Melo, 2005

Esse ensaio é utilizado para verificar a boa indicação da viscosidade da mistura, servindo também para indicar a presença de segregação.

Um pequeno tempo de esvaziamento do funil mostra-se favorável a capacidade de fluxo, já um grande tempo de esvaziamento é sinal de alta viscosidade com disposição a sofrer segregação e bloqueio (GOMES, 2002)

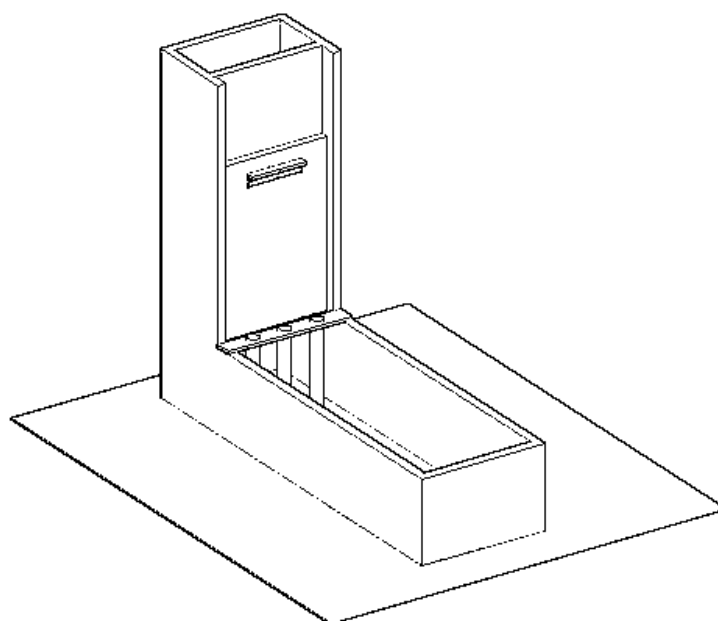
Nesta pesquisa esse ensaio foi realizado para analisar a propriedade do concreto no estado fresco no tocante a capacidade de preenchimento de formas.

O Funil V utilizado possui orifício de descarga com dimensões de 6,5cm x 7,5cm, dotado de uma tampa a prova de passagem de água conforme recomendado por Gomes (2002).

### 3.3.3 Ensaio da caixa L (*L-box test*)

Este ensaio mede a fluidez do compósito e sua capacidade de atravessar os obstáculos que se apresentem em seu caminho, sem que ocorram perdas na coesão. Como se pode ver na Figura 13 este equipamento tem um formato de L e possui uma porta que aprisiona o compósito na parte vertical do equipamento e depois o libera, fazendo com que passe por três barras metálicas verticais, simulando a passagem do concreto por obstáculos encontrados em uma obra (RAMBO, 2009).

**Figura 13 – Caixa L**



Fonte: Próprio autor

Para a execução do ensaio primeiramente deve-se colocar a caixa L em solo ou piso nivelado e umedecê-la levemente. Posteriormente, deve-se fechar a porta da mesma para preencher a parte vertical com concreto. Para este ensaio é necessário um volume de aproximadamente 12 litros de concreto que, após abrir a porta, fluem por entre as barras metálicas e atingem toda a parte horizontal da caixa, nivelando (RAMBO, 2009).

Neste ensaio obtém-se os parâmetros  $T_{20}$ ,  $T_{40}$  e  $H_2/H_1$  que são respectivamente, o tempo para o concreto percorrer um comprimento horizontal de 20cm, 40cm e a relação final entre as alturas do concreto no final do trecho horizontal e a altura do concreto remanescente do trecho vertical da caixa após a abertura da porta e o escoamento total do concreto.

De acordo com Tutikian (2004) o valor  $H_2/H_1$  deve estar situado entre 0,8 e 1,00, que é o valor adotado pela maior parte dos pesquisadores. Ele diz ainda, que quanto mais fluida a mistura estiver, mais rápido alcançará as marcas de 20cm e 40cm e mais nivelada terminará. Deve-se observar ainda, a passagem do concreto durante o ensaio, pois se o mesmo estiver segregando ao passar nos obstáculos, “o agregado graúdo irá demorar mais a fluir enquanto a argamassa do concreto irá chegar primeiro ao final da caixa”.

### **3.4 Ensaios no Estado Endurecido**

#### **3.4.1 Determinação da resistência do concreto**

##### **3.4.1.1 Resistência à compressão**

Conforme a NBR 5738:2008 são indicados dois tipos de moldes que podem ser utilizados para a determinação da resistência do concreto: um dos tipos indicados é o de formato cilíndrico e o outro tipo é o de formato prismático (ANDRADE & TUTIKIAN, 2011).

Geralmente adotam-se corpos de prova de formato cilíndrico cuja altura é o dobro do diâmetro. Sendo bastante comum a utilização de moldes com 100mm x 200mm devido à sua facilidade de manuseio.

Realiza-se o capeamento do corpo de prova e em seguida o mesmo é colocado no equipamento de ensaio. Iniciando, neste momento, o efeito de atrito entre os pratos da prensa, podendo ocasionalmente modificar as distribuições de tensões nas faces das amostras.

O cálculo da resistência à compressão do concreto é realizado através da equação 6

$$f_c = \frac{F}{A} \quad [6]$$

Onde:

$f_c$  = Resistência à compressão (kg/cm<sup>2</sup>);

F = Carga máxima aplicada (kgf);

A = Área da seção do corpo de prova (cm<sup>2</sup>).

Neste trabalho foram produzidos moldes apenas de corpos-de-prova cilíndricos de 10cm x 20cm para serem submetidos a ensaios de compressão aos 7 dias de idade com o intuito de ter uma ideia de resistência à compressão da dosagem estabelecida, aos 14 dias de idade e aos 28 dias de idade.

Os ensaios de Resistência à compressão nos corpos de prova cilíndricos de 10cm x 20cm, aos 7, 14 e 28 dias, foram executados na Máquina Universal (Figura 14), marca EMIC DL 30000, de 30tf .

**Figura 14 - Máquina Universal EMIC DL 30000**



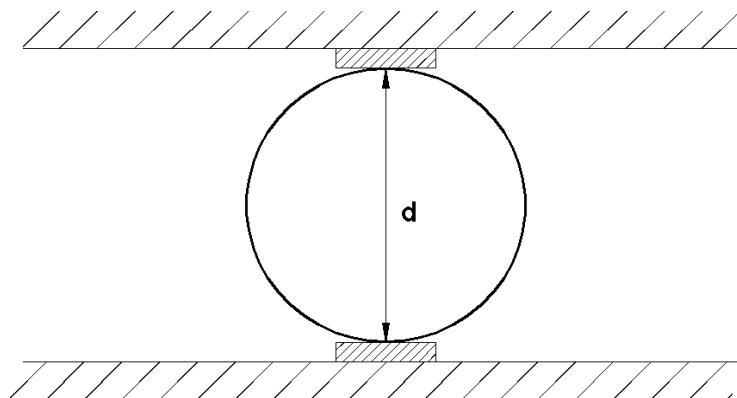
Fonte: Lisboa, 2004

#### 3.4.1.2. Resistência à tração por compressão diametral

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral os corpos de prova são dispostos em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da máquina

de compressão. O contato entre os pratos da máquina de ensaio e o corpo de prova se dá ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas ao corpo de prova, através de duas chapas rígidas. Seguindo recomendações da NBR 7222:2010 de acordo com a Figura 15.

**Figura 15 – Resistência à tração por compressão diametral**



Fonte: Próprio autor

O cálculo da resistência à tração por compressão diametral é feito através da equação (7).

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\mu d L} \quad [7]$$

Onde:

$f_{ct,sp}$  = resistência à tração por compressão diametral (MPa);

$F$  = carga máxima aplicada (kN);

$L$  = comprimento do corpo de prova (mm);

$d$  = diâmetro do corpo de prova (mm).

De acordo com a NBR 6118:2007 a resistência à tração direta ( $f_{ct}$ ) pode ser considerada  $0,9 \cdot f_{ct,sp}$  ou  $0,7 \cdot f_{ct,f}$ . Na ausência dos ensaios para determinação de  $f_{ct,sp}$  ou  $f_{ct,f}$ , a determinação da resistência média à tração ( $f_{ct,m}$ ) pode ser calculada através das seguintes equações:



$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad [8]$$

$$f_{tk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \quad [9]$$

$$\sigma_1 \geq -f_{ctk} \quad [10]$$

### 3.4.1.3. Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade do concreto é a relação entre o incremento de tensão e o incremento de deformação. Ele pode ser obtido segundo ensaio descrito na NBR 8522:2008. Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (tensão  $\sigma_a$  fixa), considerando o módulo de deformação tangente inicial cordal  $E_{ci}$  igual a  $0,3f_c$  ou outra tensão especificada em projeto.

Na determinação do módulo de elasticidade, foram utilizados três corpos de prova cilíndricos 100mm x 200mm. O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi uma prensa juntamente com o equipamento digital que registrava as leituras das forças aplicadas pelas células de carga e das deformações do concreto emitidas pelos extensômetros. Na Figura 16 é apresentada a execução do ensaio.

**Figura 16 – Ensaio de Módulo de Elasticidade**



Fonte: Góis, 2010

O valor de  $f_c$  foi estabelecido através da média dos valores obtidos através do ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos. As etapas de carregamento foram conduzidas manualmente pelo operador da prensa, onde, na

última etapa os valores de  $\varepsilon_a$  e  $\varepsilon_b$  e seus respectivos valores de carregamento foram anotados para posterior determinação do módulo de elasticidade do concreto ( $E_{ci}$ ), em GPa, dado pela Equação 11.

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \cdot 10^{-3} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \cdot 10^{-3} \quad [11]$$

Onde:

$\sigma_b$  =tensão maior (MPa);

$\varepsilon_b$ =deformação específica média dos corpos-de-prova sob a tensão maior;

$\varepsilon_a$  = deformação específica média dos corpos-de-prova sob a tensão básica (0,5 MPa).

As deformações específicas  $\varepsilon$  foram calculadas a partir da Equação 12.

$$\varepsilon = \frac{\text{valor da deformação registrada no equipamento}}{\text{valor da base do extensômetro}} \quad [12]$$

Para corpos-de-prova cilíndricos 100mm x 200mm, o valor da base do extensômetro é de 100mm, conforme especificação do fabricante do equipamento digital utilizado para realizar as leituras das cargas e deformações no ensaio do módulo de elasticidade (GÓIS, 2010).

Após as leituras de  $\varepsilon_a$  e  $\varepsilon_b$  e seus respectivos valores de carregamento, foram retiradas as instrumentações, e o corpo-de-prova foi carregado na mesma taxa de velocidade utilizada durante as etapas de carregamento, até que se produziu a ruptura, obtendo-se a resistência efetiva ( $f_{c,ef}$ ).

Na próxima seção, serão apresentados os resultados obtidos para os concretos analisados neste estudo, com base em experimentos realizados nos estados fresco e endurecido.

No estado fresco, todos os concretos produzidos foram ensaiados de acordo com recomendações normativas, são apresentados os resultados de cada mistura, obtidos a partir de uma única amostra. Nos resultados da resistência à compressão,

da resistência à tração por compressão diametral e do módulo de elasticidade dos concretos no estado endurecido, são apresentados à média aritmética dos resultados das três amostras cilíndricas ensaiadas para cada tipo de concreto e o desvio padrão das três amostras.

Foi produzido um concreto de referência, sem adição de fibras, e outro concreto com adição de fibras, para ambos foram utilizados os mesmos teores, sendo que um diferencia-se apenas pela incorporação de fibras. A introdução do valor para a fibra de borracha incorporada trata-se de uma substituição de uma parte do agregado miúdo, que inicialmente foi de 3,5% após a realização do ajuste esse teor foi reduzido para 2%, já a fibra de polipropileno caracterizou-se como uma adição de fibras, a princípio foi utilizado um teor de 0,35%, finalizando com 0,25%, considerando o volume total de concreto, e não uma substituição.

Variando o teor das fibras para a produção do segundo concreto, foram obtidos valores de 2% para as fibras de borracha e 0,25% para as fibras de polipropileno.

Para cada ensaio foram utilizados 3 corpos de prova, sendo rompidos aos 7, 14 e 28 dias. Foi realizada a repetição de todos os ensaios, finalizando a análise com ensaios em 54 corpos de prova, onde os 27 últimos foram rompidos à título de comprovação dos resultados.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Caracterização dos Materiais

#### 4.1.1 Agregado miúdo

**Quadro8 - Caracterização do agregado miúdo natural**

Ensaio	Agregado Miúdo Natural
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,61
Massa Unitária - Estado Solto (g/cm <sup>3</sup> )	1,48
Absorção (%)	0,64
Diâmetro Característico Máximo (mm)	2,40
Módulo de Finura	2,42

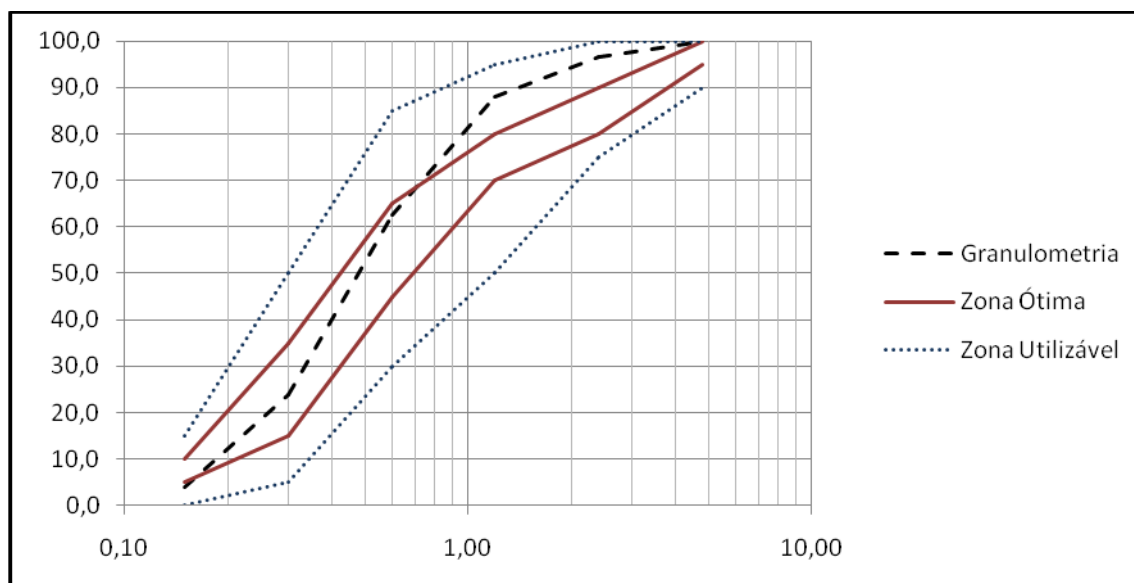
Fonte: Próprio autor

**Tabela 4 - Composição granulométrica da areia**

Peneira mm	1ª Amostra				2ª Amostra				Média	
	Massa retida (g)	% Retida indiv.	% Retida acumul.	% Passante	Massa retida (g)	% Retida indiv.	% Retida acumul.	% Passante	Massa retida (g)	% Passante
4,80	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
2,40	15,0	3,0	3,0	97,0	18,3	3,7	3,7	96,3	16,7	96,7
1,20	41,3	8,2	11,2	88,8	44,8	9,0	12,6	87,4	43,1	88,1
0,600	125,5	25,1	36,3	63,7	129,4	25,9	38,5	61,5	127,5	62,6
0,300	196,8	39,3	75,6	24,4	191,3	38,2	76,7	23,3	194,1	23,9
0,150	100,4	20,0	95,6	4,4	99,1	19,8	96,5	3,5	99,8	3,9
Fundo	21,8	4,4	100,0	0,0	17,5	3,5	100,0	0,0	19,7	0,0
<b>Massa total (g)</b>	<b>500,8</b>				<b>500,4</b>					

Fonte: Próprio autor

Gráfico 3 - Curva granulométrica da areia



Fonte: Próprio autor

## 4.2 Ensaios no Estado Fresco

No estado fresco, os concretos foram avaliados segundo de acordo com recomendações da NBR 15823:2010, o ensaio de espalhamento (SlumpFlow test), Funil V e caixa L, tendo dessa forma, parâmetros para avaliar a trabalhabilidade, a capacidade de fluxo de ultrapassar obstáculos. No ensaio do esqueleto granular a combinação ótima obtida foi de 50% de brita e 50% de areia.

Na produção do concreto, o RBMG utilizado possuía granulometria de (0,3  $\mu$ m), considerando os benefícios que os finos proporcionam para a autoadensabilidade, de acordo com a literatura, adotando-se um valor 0,5% de superplastificante, levando em consideração a incorporação do agregado graúdo e das fibras, ato que eleva o teor necessário. Em seguida foi estabelecido, para análise inicial, o percentual de 3% para as fibras de borracha e 0,35% para as fibras de polipropileno. A combinação ótima encontrada foi de 50% de brita e 50% de areia. Conhecidas tais porcentagens, as relações  $a/c = 0,5$  e  $r/c = 0,5$  (as mesmas usadas na argamassa, baseadas no trabalho de Nunes (2012), a relação  $sp/c$  adotada (0,5%), o teor de sólidos do superplastificante, e as massas específicas de

cada material, foi possível definir a dosagem do concreto, Tabela 5, através do mesmo procedimento adotado por Lisboa (2004).

**Tabela 5 - Dosagem inicial do concreto**

Dosagem	(kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	392,20
Areia	776,4
Brita	795
RBMG	196
Aditivo Superplastificante	6,31
Água	211,01
Fibra de borracha	11,766
Fibra de polipropileno	1,373

Fonte: Próprio autor

A dosagem ótima do concreto encontra-se na Tabela 6.

**Tabela 6 - Dosagem ótima do concreto**

Dosagem	(kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	392,20
Areia	776,4
Brita	795
RBMG	196
Aditivo Superplastificante	6,31
Água	211,01
Fibra de borracha	7,84
Fibra de polipropileno	1

Fonte: Próprio autor

Os ensaios realizados com o concreto de referência, sem a adição de fibras, apresentaram os resultados conforme Tabela 7.

**Tabela 7 - Margem de valores de cada método de ensaio**

Método de ensaio		Unidade	Margem de Valores	
			Mínimo	Máximo
1	Ensaio de espalhamento	mm	650	800
2	Ensaio de espalhamento T50cm	segundos	2	5
3	Funil V	segundos	6	12
4	Funil V a T5 minutos	segundos	0	+3
5	Caixa L	(h2/h1)	0.8	1.0

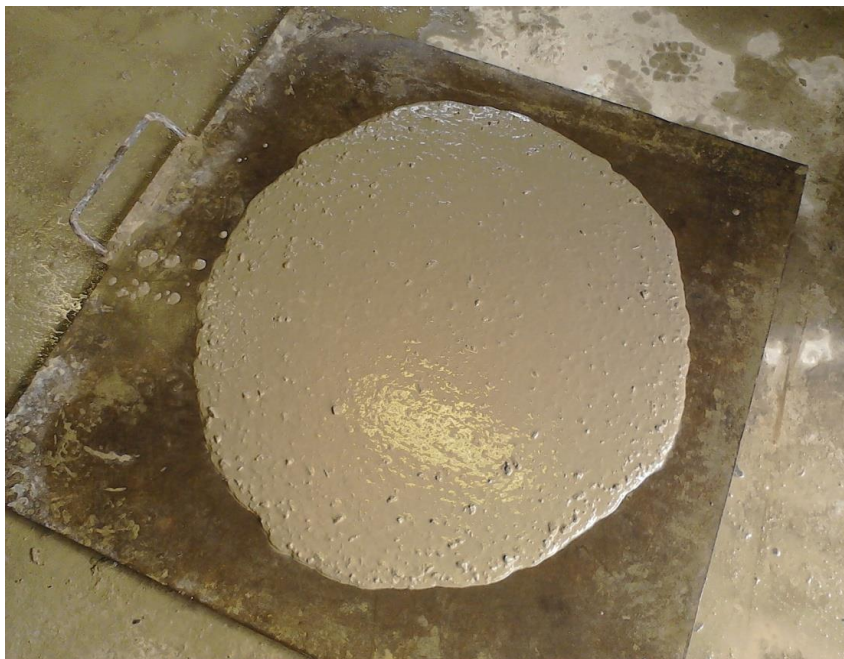
Fonte: Adaptada da EFNARC (2002).

#### 4.2.1 Ensaio de espalhamento

Neste ensaio foram observados: o tempo gasto para que o compósito atingisse um diâmetro de espalhamento igual a 50cm ( $T_{50}$ ) e o diâmetro de espalhamento final ( $d_f$ ), que foi a média de duas medidas perpendiculares do diâmetro do CF espalhado ( $d_1$  e  $d_2$ ).

O concreto de referência, sem adição de fibras, apresentou um diâmetro médio de 80cm no ensaio de espalhamento e marcou-se 3 segundos para que atingisse 50cm de diâmetro ( $T_{50}$ ). Conforme mostra a Figura 17.

**Figura 17 – Ensaio de espalhamento com o concreto de referência**



Fonte: Próprio autor

Para o primeiro concreto fibroso em estudo no ensaio de espalhamento este não apresentou fluidez. Sendo necessário alterar o teor de fibras da mistura. O diâmetro médio externo alcançado foi de 62,5cm, porém, observou-se uma grande segregação, como mostra a Figura 18.

**Figura 18 – Ensaio de Espalhamento do concreto inicial**



Fonte: Próprio autor



Como no primeiro concreto houve uma enorme segregação, optou-se pela modificação do teor de fibras de 3% para 2% de fibra de borracha e 0,35% para 0,25% de fibra de polipropileno, essa modificação representou uma redução de 32% do volume de fibras da mistura.

O ensaio de espalhamento para esse concreto apresentou um diâmetro médio de 68cm, e sem presença de segregação, sendo considerado, portanto, a dosagem ótima para os dois tipos de fibra. O ensaio é mostrado na Figura 19.

**Figura 19 – Ensaio de espalhamento do concreto ótimo**



Fonte: Próprio autor

A classificação da consistência do concreto é obtida através das faixas de abatimento do concreto conforme apresentado na Tabela 8.

**Tabela 8 - Classificação das consistências**

Consistência	Abatimento (cm)
Seca	0 a 2
Firme	2 a 5
Média	5 a 12
Mole	12 a 20
Fluida	20 a 25

Fonte: ABNT NBR 6118, 2003.

#### 4.2.2 Funil V

O concreto de referência produzido apresentou um tempo de escoamento de 7,5 segundos, já o concreto com adição de fibras apresentou um tempo de 9 segundos, observando-se que para um teor acima de 2% poderia promover a formação de um emaranhado de fibras, dificultando a passagem do concreto por pequenas aberturas.

**Figura 20 – Ensaio do Funil V**



Fonte: Próprio autor

#### 4.2.3 Caixa L

No ensaio da caixa em L o concreto de referência apresentou os resultados para o  $T_{20}$  de 0,8 s e para o  $T_{40}$  de 2,3 s e para  $H_2/H_1$  igual a 0,85 estando dentro da faixa admitida para CAA, já o concreto com fibras apresentou os resultados para o  $T_{20}$  de 1 s e para o  $T_{40}$  de 2,9 s e para  $H_2/H_1$  igual a 0,72. Mostrando que a incorporação das fibras de polipropileno reduziu o fluxo horizontal e apresentou segregação na passagem dos obstáculos, o que já era esperado tendo em vista que as fibras de polipropileno possuem comprimento igual ao espaçamento entre os obstáculos que é de 4cm.

**Figura 21 – Ensaio de Caixa L**

Fonte: Próprio autor

### **4.3 Ensaios no Estado Endurecido**

Nas tabelas 9, 10 e 11 estão apresentados os ensaios das propriedades mecânicas de Resistência à compressão ( $f_c$ ), módulo de elasticidade ( $E_c$ ) e Resistência à tração na compressão diametral ( $f_{tD}$ ), para o concreto de referencia, onde foram moldados 27 C.P. de 10cm x 20cm. Para cada propriedade mecânica foram utilizados 3 C.P. para 07 dias, 3 para 14 e mais 3 para 28 dias.

**Tabela 9 - Ensaio de Resistência à compressão do concreto de referência**

Resistência à compressão						
Nº C.P.	7 dias		14 dias		28 dias	
	$f_c$ (MPa)	D (%)	$f_c$ (MPa)	D (%)	$f_c$ (MPa)	D (%)
1	25,60	-1,65	27,60	-0,97	29,70	-3,05
2	25,90	-0,49	28,10	+0,83	31,40	+2,50
3	26,20	+0,65	27,90	-0,11	30,80	+0,54
Média	26,03		27,87		30,63	

Fonte: Próprio autor

**Tabela 10 - Ensaio de Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência**

Resistência à Tração por compressão diametral						
Nº C.P.	7 dias		14 dias		28 dias	
	$f_{tD}$ (MPa)	D (%)	$f_{tD}$ (MPa)	D (%)	$f_{tD}$ (MPa)	D (%)
1	2,81	-1,63	3,20	+2,89	3,37	+3,06
2	2,90	+1,52	3,05	-1,93	3,19	+2,45
3	2,86	+0,12	3,08	-0,96	3,25	-0,61
Média	2,857		3,11		3,27	

Fonte: Próprio autor

**Tabela 11 - Ensaio de Módulo de elasticidade do concreto de referência**

Módulo de Elasticidade						
Nº C.P.	7 dias		14 dias		28 dias	
	E <sub>c</sub> (GPa)	D (%)	E <sub>c</sub> (GPa)	D (%)	E <sub>c</sub> (GPa)	D (%)
1	26,93	+2,86	27,10	+2,74	28,90	+6,33
2	25,78	-1,53	25,98	-1,50	26,21	-3,56
3	25,83	-1,34	26,05	-1,24	26,43	-2,76
Média	26,18		26,38		27,18	

Fonte: Próprio autor

Os mesmos ensaios realizados para o concreto de referência foram feitos para o concreto fibroso, e seus resultados estão apresentados nas tabelas 12, 13 e 14. Para este concreto também foram moldados 27 C.P. de 10cm x 20cm. Para cada propriedade mecânica foram utilizados 3 C.P. para 07 dias, 3 para 14 e mais 3 para 28 dias, da mesma forma que nos ensaios para o CR.

**Tabela 12 - Ensaio de Resistência à compressão do concreto com fibras**

Resistência à compressão						
Nº C.P.	7 dias		14 dias		28 dias	
	f <sub>c</sub> (MPa)	D (%)	f <sub>c</sub> (MPa)	D (%)	f <sub>c</sub> (MPa)	D (%)
1	19,62	-3,20	21,54	-0,94	23,42	-2,86
2	17,98	+5,41	20,72	+2,91	22,23	+2,28
3	19,41	-2,10	21,76	-1,97	22,59	+0,70
Média	19,01		21,34		22,75	

Fonte: Próprio autor

**Tabela 13 - Ensaio de Resistência à tração por compressão diametral do concreto fluido com fibras**

Resistência à Tração por compressão diametral						
Nº C.P.	7 dias		14 dias		28 dias	
	$f_{TD}$ (MPa)	D (%)	$f_{TD}$ (MPa)	D (%)	$f_{TD}$ (MPa)	D (%)
1	2,92	+7,30	3,36	-3,70	3,67	+0,00
2	3,02	+4,12	3,21	+0,94	3,53	+3,82
3	3,51	-11,42	3,15	+2,78	3,81	-3,81
Média	3,15		3,24		3,67	

Fonte: Próprio autor

**Tabela 14 - Ensaio de Módulo de elasticidade do concreto com fibras**

Módulo de Elasticidade						
Nº C.P.	7 dias		14 dias		28 dias	
	$E_c$ (GPa)	D (%)	$E_c$ (GPa)	D (%)	$E_c$ (GPa)	D (%)
1	21,13	-0,43	23,76	-3,71	25,02	-1,87
2	20,07	+4,61	22,43	-2,10	24,10	+1,87
3	21,93	-4,23	22,54	+1,62	24,56	+0,00
Média	21,04		22,91		24,56	

Fonte: Próprio autor

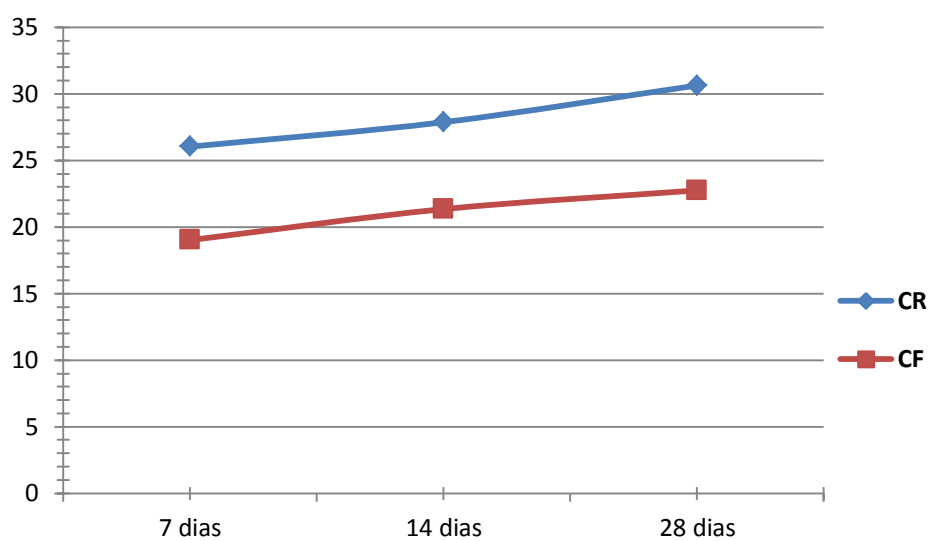
Com os resultados obtidos nos ensaios no estado endurecido, conforme Figura 22, foram feitos os gráficos 4, 5 e 6, comparando cada propriedade mecânica do concreto de referência com a mesma do concreto com fibras.

**Figura 22 – Ensaio de resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade**



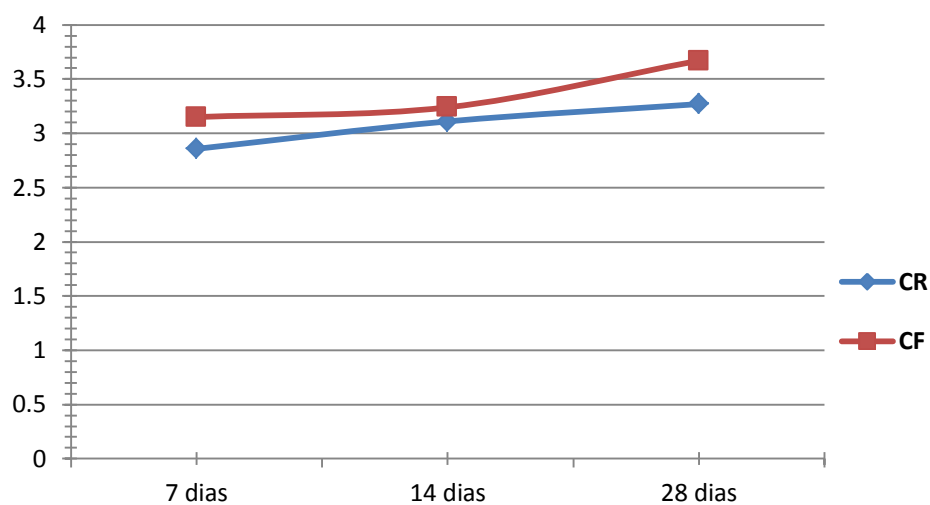
Fonte: Próprio autor

**Gráfico 4 - Comparação dos resultados dos ensaios de Resistência à compressão**



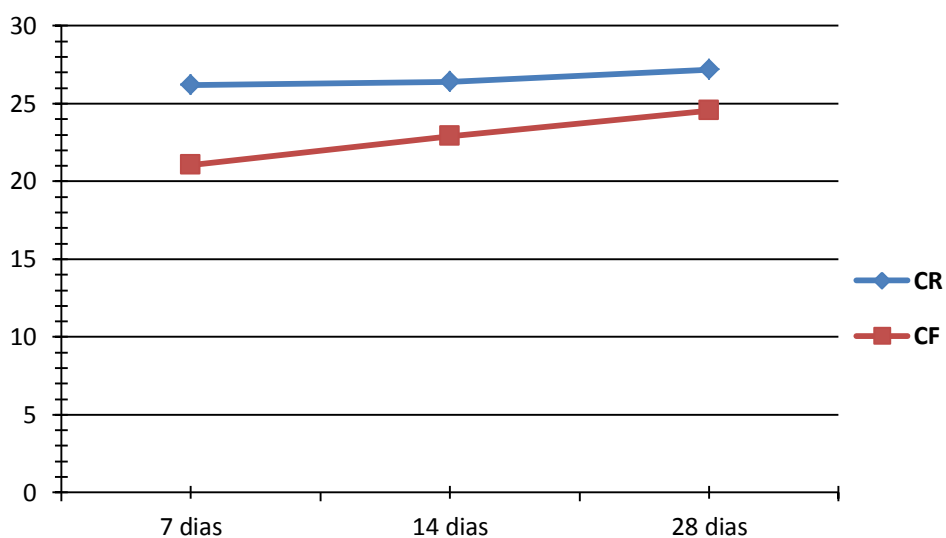
Fonte: Próprio autor

**Gráfico 5 – Comparação dos resultados do ensaio de Resistência à tração por compressão diametral**



Fonte: Próprio autor

**Gráfico 6 - Comparação dos resultados do ensaio de Módulo de elasticidade**



Fonte: Próprio autor

Após os ensaios no estado endurecido, também foi elaborado um quadro comparativo dos resultados do concreto de referencia em relação ao concreto fluido com fibras, Quadro 9, pode-se observar que na resistência à compressão houve um desvio padrão (DIP) de -25,73%, já na resistência à tração observou-se um DIP de +12,23%, enquanto que, o módulo de elasticidade sofreu um desvio de -9,64%.



**Quadro 9 – Quadro comparativo das propriedades mecânicas**

	<b>CR</b>	<b>CF</b>	<b>DIP (%)</b>
$f_c$ (MPa)	30,63	22,75	-25,73
$f_{tD}$ (MPa)	3,27	3,67	+12,23
$E_c$ (GPa)	27,18	24,56	-9,64

Fonte: Próprio autor

Encontrando a razão entre a resistência à tração e a resistência à compressão (k),

**Quadro 10 – Valores estimados pelas equações dadas na NBR 6118:2003**

	<b>CR</b>	<b>CF</b>
$k = f_{tD} / f_c$	0,11	0,16
$E_{ci} = 5600 f_c^{\frac{1}{2}}$ (GPa)	31,00	26,71
$\alpha = \arctg(E_{ci})$	88,15°	87,86°

Fonte: Próprio autor

De acordo com recomendações normativas verificou-se que a constante (k), que relaciona resistência a tração direta com a resistência a compressão, apresentou para o concreto de referência um valor menor em comparação ao concreto fluido com fibras. Aplicando-se as equações estabelecidas pela NBR 6118:2003, pode-se constatar que o módulo de elasticidade tangente inicial obtido aproximou-se do módulo de elasticidade tangencial real, comparando a constante pela razão entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão obteve-se 4911 encontrando-se abaixo do valor estabelecido pela NBR 6118:2003 que é de 5600, caracterizando este concreto como mais flexível.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi atingido com a contribuição proporcionada pela produção de um concreto fluido com fibras de borracha e de polipropileno e adição de resíduos do beneficiamento do mármore e granito.

A metodologia de dosagem aplicada foi a de Gomes (2002), para definição do esqueleto granular e dosagem final do concreto. Ressalta-se que o método de Gomes (2002) foi desenvolvido para concreto auto adensável sem fibra, realizando-se as adequações para o concreto aqui estudado.

Diante das análises dos resultados obtidos nos ensaios para os concretos produzidos, foi possível observar no estado fresco que o concreto de referencia apresentou um espalhamento de 80cm de diâmetro e atingiu o  $T_{50}$  em 03 segundos, já o concreto fluido com fibras produzido apresentou um diâmetro de 68cm e atingiu o  $T_{50}$  em 3,5 segundos, com isso observa-se que ambos os compósitos produzidos apresentaram espalhamento dentro dos valores estabelecidos para concretos auto adensáveis, caracterizando-se como um concreto fluido com características de auto adensabilidade, podendo não necessitar de adensamento mecânico.

No ensaio do funil V foi observado o tempo de escoamento de 7,5s para o concreto de referência e 9s para o concreto com adição de fibras, estando, portanto, dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15823-5:2010, que são de 6 a 12 seg. Neste ensaio, observou-se também o comportamento do concreto ao ser lançado do funil V através do seu peso próprio a uma altura de lançamento de 127,50cm, tendo em vista que a altura máxima de lançamento prevista na NBR 6118:2003 é de 2 metros, e verificou-se que os compósitos produzidos não apresentaram segregação.

No ensaio da caixa L verificou-se que o concreto de referência atingiu o  $T_{20}$  em 0,80seg e o  $T_{40}$  em 2,30seg, encontrando-se uma razão  $H_2/H_1$  igual a 0,85, já para o concreto fluido com fibras o  $T_{20}$  foi atingido em 1,00seg e o  $T_{40}$  em 2,90 seg, sendo 0,72 a razão entre  $H_2$  e  $H_1$ . Apenas os valores encontrados para o concreto de referencia obedeceram aos valores estabelecidos pela NBR 15823-4:2010. Foi observada a presença de segregação para o concreto com fibras na saída vertical da caixa próxima aos obstáculos com espaçamento de 4cm entre os mesmos. A

presença de segregação já era esperada devido ao comprimento das fibras de polipropileno coincidir com o espaçamento entre os obstáculos (4cm).

O CF normalmente possui em sua composição um menor teor de agregados graúdos e um maior teor de finos, nesta pesquisa foi incorporado o RBMG elevando-se o teor de finos da mistura e verificou-se que o mesmo garantiu a trabalhabilidade do compósito.

Como o teor de superplastificante utilizado foi de 0,4 % e o fabricante sugere a incorporação máxima de 1 %, conclui-se que a dosagem obtida pode ser ainda otimizada para que se obtenha um concreto auto adensável.

Nos ensaios para avaliação do comportamento estrutural dos compósitos, verificou-se que a resistência à compressão do CF apresentou uma redução de 25,73% de em relação ao CR. Já para a resistência à tração o CF apresentou um ganho de 12,23% em relação ao CR, o que pode proporcionar uma redução na taxa de armadura de pele, devido ao aumento da capacidade de absorção dos esforços de tração. Com relação ao módulo de elasticidade verificou-se uma perda de 9,64% do CF em relação ao CR.

A NBR 6118:2003 regulamenta que concretos do grupo I de resistência (C10 a C50), devem possuir massa específica seca ( $\rho_c$ ) compreendida entre 2 000 kg/m<sup>3</sup> e 2 800 kg/m<sup>3</sup>. Nesse estudo o compósito produzido alcançou um  $f_{ck}$  e apresentou uma massa específica dos materiais secos igual a de 2 170,43 kg/m<sup>3</sup>, conforme mostrou o Quadro 3, e já levando-se em consideração o volume de sólidos do aditivo superplastificante que é de 31,5% do volume total (Quadro 5). Pode-se considerar que o concreto produzido nesta pesquisa se enquadra-se como um concreto que atende aos valores estabelecidos pela referida Norma.

Considerando a relação estabelecida pela NBR 6118:2003 entre o módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial  $E_{ci}$ , e resistência à compressão verificou uma redução da constante K de 5600 para 4911, Isso indica que ocorre uma perda na rigidez do compósito deixando-o mais flexível e assim elevando sua capacidade de absorver maiores impactos sem acontecer a fissuração da peça. Aplicando o  $f_{ck}$  médio na equação descrita pela NBR 6118:2003 o módulo

de elasticidade obtido para o CR foi de 31,00 GPa e para o CF foi de 26,71 GPa, no entanto os valores reais obtidos com a realização dos ensaios foi de 27,18 GPa para o CR e 24,56 GPa para o CF.

Anualmente estima-se o consumo 11 bilhões de toneladas de concreto, o que gera, segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 m<sup>3</sup> de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. O concreto proposto nesta pesquisa é um concreto fluido com RBMG e adição de fibras de borracha e de polipropileno, o que ocasionaria o aproveitamento de 22, 36 kg de borracha por hab/ano, tendo em vista que as fibras de borracha incorporadas na mistura são provenientes da recauchutagem de pneus inservíveis reduzindo o impacto ambiental causado pelo descarte indevido de pneus. Tornando-se um concreto ecoeficiente (METHA, 2008).

### **5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros**

Finalizando esta pesquisa percebeu-se que a abordagem dada ao assunto não é conclusiva, apresentando possibilidades de continuidade da pesquisa. Considera-se que as seguintes sugestões de trabalhos poderiam ser implementadas em pesquisas posteriores:

- Desenvolver método de dosagem para concretos auto adensável fibrosos, sem que haja prejuízo das propriedades do concreto, considerando os custos totais relativos à produção e aplicação;
- Produzir placas para aplicação em pavimentos de concreto.
- Aplicação em peças ou placas.
- Aplicação em barreiras utilizadas para proteção acústica.
- Análise do comportamento do CF quando lançados de diferentes alturas, com o intuito de avaliar o comportamento desse concreto em relação a segregação.
- Estudo da durabilidade deste compósito.

Sendo assim, observa-se que ainda há muito que percorrer para considerar que todos os parâmetros estão definidos e este trabalho representa apenas mais um passo no caminho do que ainda falta ser estudado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCETTI, K. M., PINHEIRO, L. M. **Tipos de Fibras e Propriedades do Concreto com Fibras**. In: 42º Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza. IBRACON, 2000.

AGUIAR NETO, P. P. **Fibras têxteis**. v. 1. Rio de Janeiro: SENAI-CETIQT, 1996.

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: Pini. 2000.

AKASAKI, J. L.; FIORITI, C. F.; NIRSCHL, G. C. **Análise Experimental da Resistência a Compressão do Concreto com Adição de Fibras de Borracha Vulcanizada**. 43º. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Foz do Iguaçu/Pr, 2001.

ALBUQUERQUE, A. C.; ANDRADE, W. P.; HASPARYK, N. P.; ANDRADE, M.A.S.; BITENCOURT, R.M. **Adição de Borracha de Pneu ao Concreto Convencional e Compactado com Rolo**. In: ANAIS DO ENTAC.2006.

ALCANTARA, M. A. M.; MOURET, M.; PONS, G.; GRANJU, J. L. **Concreto Auto-Adensável com Adição de Fibras Metálicas** - Parâmetros de Dosagem e Características no Estado Fresco e Endurecido. 46º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis, 2004.

ALI, E. E.; AL-TERSAWY. **Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete**. In: Construction and Building Materials. Vol. 35, oct 2012.

ANDRADE & TUTIKIAN. **Resistência mecânica do concreto**. In: Concreto: Ciência e tecnologia, v. I-II. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, Ibracon, 2011.

ARAÚJO, J.G. **Influência de adições minerais pozolânicas e de finos de pedra nas propriedades mecânicas e na microestrutura do concreto auto-adensável**. Dissertação de mestrado, Goiânia, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 (1983) Agregado para concreto. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 10004 (1987) Resíduos sólidos. Classificação. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 11578 (1991) Cimento Portland composto. Especificação. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 13956 (1997) Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassas e pasta de cimento Portland - Especificação. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 5738 (1994) Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Método de ensaio. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 5739 (1994) Concreto. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 6118 (2007) Projeto de estrutura de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 6156 (1983) Máquina de ensaio de tração e compressão. Verificação. Método de ensaio. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 6508 (1984) Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm. Determinação da massa específica. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 7221 (1987) Agregados. Ensaio de qualidade de agregado miúdo. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 7222 (1994) Argamassa e concreto. Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 7809 (1983) Agregado graúdo. Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 7810 (1983) Agregados em estado compactado seco. Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 8522 (2003) Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR 9479 (1996) Câmaras úmidas para cura de corpos-de-prova de cimento e concreto. Especificação. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ NBR NM 248 (2003) Determinação da composição granulométrica.

\_\_\_\_\_ NBR NM 26 (2001) Agregados – Amostragem.

\_\_\_\_\_ NBR NM 27 (2001) Agregados - Redução de amostras de campo para ensaio de laboratório.

\_\_\_\_\_ NBR NM 30 (2001) Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.

\_\_\_\_\_ NBR NM 43 (2003) Cimento Portland. Determinação da pasta de consistência normal.

\_\_\_\_\_ NBR NM 46 (2003) Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem.

\_\_\_\_\_ NBR NM 49 (2001) Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas.

\_\_\_\_\_ NBR NM 52 (2003) Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.

\_\_\_\_\_ NBR NM 53 (2003) Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

\_\_\_\_\_ NBR NM 67 (1998) Concreto. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

\_\_\_\_\_ NM 45 (2002) Agregados - Determinação da massa unitária e dos espaços vazios.

NM – ISO – 3610-1 (1996) Peneiras de ensaio. – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1 – Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.

BALAGURU, P. **Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period.** In: Journal of Materials. American Concrete Institute. May-June, 1994.

BAYASI, M. AI DHAHERI, Z. **Effect of exposure to elevated temperature on polypropylene fiber-reinforced concrete,** ACI Mater. J. 99, 1 (2002) 22-26.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites.** London and New York: Modern Concrete Technology Series, 2 ed. 2007.

BERNARDI, S. T. **Avaliação do Comportamento de Materiais Compósitos de Matrizes Cimentícias Reforçadas com Fibra de Aramida Kevlar.** 2003. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BOAVENTURA, M. C. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos Produzidos com Resíduos de Pneus.** Feira de Santana, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, 2011.

CALISTER W D. **Materials Science And Engineering: An Introduction / William D Callister Jr,** 4 ed. John Wiley& Sons, USA, 1997.

CAVALCANTI, D.H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** 2006. p. 141. Dissertação – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2006.

CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento). **Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto-fibra.** Rio de Janeiro, BNH/DEPEA, 1982.

CONCRETO & CONSTRUÇÕES. São Paulo: Ispis Gráfica e Editora, Ano XXXVII, 2009. Publicação trimestral. ISSN 1809-7197.

CUNHA, S. S. **Perspectiva de utilização de materiais compósitos com fibras vegetais em habitações de interesse social.** Feira de Santana, 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, 2007.

EFNARC – THE EUROPEAN FEDERATION OF SPECIALIST CONTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification and guidelines for selfcompacting concrete.**Fevereiro, 2002.

ELDIN, N. N. AND SENOUCI, A. B. **Engineering Properties of Rubberised. Concrete.**Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 19, 1992.



ELDIN, N. N.; SENOUCCI, A. B. **Rubber** – tire particles as concrete aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 1993.

EN 1008 Água para concreto.

EN 12350-1 Teste do concreto fresco: Parte 1: Amostragem.

EN 12350-2 Teste do concreto fresco: Parte 2: Teste de abatimento.

EN 12620 Agregados para concreto.

EN 12878 Pigmentos para coloração de edifícios baseado em materiais no cimento.

EN 13263 Definições, exigências e controle de conformidade em sílica fumo para concreto.

EN 197-1 Composição, especificações e critérios de conformidade do Cimento.

EN 206-1 Especificação desempenho, produção e conformidade do Concreto.

EN 445 Grautes para Bainhas de Protendido. Métodos de Ensaio. CEN, 12p. 1996.

EN 450 Definições, exigências e controle de qualidade de cinzas volantes para concreto.

EN 934-2 Definições e exigências para aditivos de concreto.

ENCICLOPÉDIA Barsa. Rio de Janeiro :Encyclopaedia Britannica, 1993. v.1 p: 217.

FÉLIX, A. H. O. **Compósitos de Polipropileno com fibra de vidro utilizando viniltrióxido de silício como agente de adesão**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras de Aço**. 2000. 69 p. Boletim Técnico, Série BT/PCC/260– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2007. 137f.

GRANZOTTO, L. concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. 2010. 132f.

GETTU, R., AGULLÓ, L. **Estado del Arte del Concreto Autocompactable y su Caracterización**. Universidad Politécnica de Cataluña, Informe C4745/1, Barcelona, Abril 2003.

GÓIS, F. A. P. **Avaliação experimental do comportamento de concreto fluido reforçado com fibras de aço**: Influência do fator de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto. Maceió, 2010. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, 2010.

GOMES, P. C. C. (2002) **Optimization and Characterization of High-Strength Self-Compacting Concrete**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; LEITE, M. B. (2003). **Utilização de resíduos sólidos industriais e urbanos para produção de concretos**. Engenharia, Ciência e Tecnologia. v. 06, n. 3, p. 17 – 30, maio/junho - 2003.

GUIMARÃES, D. **Pisos industriais em concreto: Determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos**. 2010. 115p. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. 90f.

GRZYBOWSKI, M.; SHAH, S.P. **Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete**. ACI Materials Journal, vol 87, n. 2, March – April 1990.

HELENE, P.; TERZIAN, P. (1992) Manual de dosagem e controle do concreto. Brasília: Pini.

ISAIA, G.C. **Concreto: Ciência e tecnologia**, v. I-II. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, Ibracon, 2011.

JOHN, V.M.; ZORDAN, S.E. **Research & development methodology for recycling residues as building materials - a proposal**. Journal Waste Management 21, 2001.

JÚNIOR, E. S.D.; ROCHA, L. F. S. **Estudo de concreto com adição de fibra de polipropileno para controle da fissuração**. 2011. 114p. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade da Amazônia, Belém, 2011.

JÚNIOR, N.B. C. **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil**. SINDUSCON – MG, MG, 2005.

LI, V. C.; MATSUMOTO, T. **Fatigue crack growth analysis of fiber reinforced concrete with effect of interfacial bond degradation**. Cement & Concrete Composites, v.20, 1998.

LOPES, M. D.; MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L. **Estudo de Dosagens para Obter Concretos com Resíduos de Borracha de Pneu**. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Recife/PE, 2005.

SEYDELL, M. R.; LINTZ, R. C. C. **Mechanical properties of concrete with added rubber tires for pavers pavement**. Technology Studies (Online), v. 5, p. 363-373, 2010.

LISBÔA, E.M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. 2004. 115p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgar Blucher, 2 ed., 1999.

MARQUES, M. L.; MARQUES, A. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. **Avaliação do Comportamento da Argamassa Adicionada de Diferentes Granulometrias de Borracha após Tratamento Superficial**. In: 47º Congresso Brasileiro de Concreto, Recife/PE, 2005.

MARTINS, I. R. F.; AKASAKI, J. L. **Avaliação da adição de fibras de borracha de pneus no comportamento do CAD**. Anais de Congresso, 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Recife, 2005.

MARTINS, V. C. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos: estudo de caso**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

MELO, K.A., **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

METHA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI. São Paulo, 2008.

MOSCA, A. M. A.; LINTZ, R. C. C.; CARNIO, M. A.. **Influencia da Utilização da Borracha Vulcanizada nas Propriedades Mecânicas do Concreto**. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto, Pernambuco. IBRACON, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Ed. Pine 2a. Edição, março 1997, São Paulo.

NIRSCHL, G. C.; AKASAKI, J. L., FIORITI, C. F. **Influência da granulometria das fibras de borracha vulcanizada em dosagens de Concreto**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 44º, 2002.

NUNES, M. C. **Avaliação do processo de produção de um concreto fibroso fluido aplicado em elementos pré-moldados em uma micro-empresa do setor**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2012.

OKAMURA H., OZAWA K. **Mix Design for Self-Compacting Concrete**. Concrete Library of Japanese Society of Civil Engineers, Jun 1995.

OKAMURA, H. (1997) Self-Compacting High-Performance Concrete. Concrete International, v. 19, n. 7, p. 50-54.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. **Self-compacting concrete**. Journal of Advanced Concrete Technology, v. 1, n. 1, p. 5-15, April 2003.

OUCHI, M.; OZAWA, K.; OKAMURA, H. (1996) Development of a simple Self-Compactability Testing Method for Acceptance at Job Site. In: First International Conference on Concrete Structure.

PADRON, I.; ZOLLO, R.F. **Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of Portland cement, concrete and mortar.** ACI Materials Journal, Jul – Aug 1990.

RAGHAVAN, D., HUYNH H. e FERRARIS, C.F.; **Workability, Mechanical Properties and Chemical Stability of a recycled Tyre Rubber-Filled Cementitious Composite.**Journal of Materials Science, 1998, 33.

RAGHAVAN, D.; HUYNH, H. **Workability, mechanical properties and chemical stability of a recycled tyre rubber-filled cementitious composite.** Journal of Materials Science33., 1998

RAMBO, D. A. S. **Estudo da trabalhabilidade do concreto autoadensável,** Ijuí, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande Do Sul, 2009.

REIS, E. L. M., **Benefícios da utilização industrial do polipropileno como talco.**São Paulo, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Produção), Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, SP, 2009.

ROMUALDO, A. C. A.; SANTOS, D. E.; CASTRO, L. M.; MENEZES, W. P.; PASQUALETTO, A.; SANTOS, O. R. **Pneus Inservíveis como Agregados na Composição de Concreto para Calçadas de Borracha.**3rd International Workshop Advances in Cleaner Production – Cleaner Production Initiatives and Challenges for A Sustainable World – São Paulo, São Paulo, 2011.

ROSTAMI, H.; LEPORE, J.; SILVESTIM, T.; ZANDI, I., **Use of Recycled Rubber Tires in Concrete.** In: Proc. Int. Conf. Concrete 2000: Economic and Durable Construction through Excellence University of Dundee, UK, 1993.

SANTIAGO, M. O. **Aplicações do GRC** – cimento reforçado com fibras de vidro em novos estádios de Sevilha, Espanha. In.: Arquimacom'2002. São Paulo 2002.

SANTOS, A.C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas.** Maceió, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, 2005.

Schwartz, M. M. Composite Materials Handbook., New York, McGrawhill, 1984.

SONEBI, M.; BAHADORI-JAHROMI, A.; BARTOS, P. J. M. **Development and optimization of médium strength self-compacting concrete by using pulverized fly ash.** Ed.: O. Wallevik; I. Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 3<sup>rd</sup>, 2003, Reykjavik. Proceedings... France: RILEM Publications, 2003.

SOROUSHIAN; MIRZA, F.; ALHHOZAIMY, A. **Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete slabs.**Transportation Research Record 1382, 1993.

TANCREZ, J. P.; RIETSCH, F.; PABIOT, J. **Influence of composition and solicitation conditions on the rupture characteristics of an injection-molded**

**glass-fiber-reinforced polypropylene composite.**European Polymer Journal, 1994b.

TANESI, J.; AGOPYAN, V. **Compósitos reforçados com fibras plásticas para construção civil.** In: Encontro tecnologia de sistemas plásticos na construção civil, 2., 1997, São Paulo. Anais...São Paulo: EPUSP, 1997.

TANESI, J; TORNERI, P.; FIGUEIREDO, A. D. **A influencia das fibras de polipropileno na fissuração por retração.** IV congresso Iberoamericano de patologia das construções. Anais, Porto Alegre, 1997.

TAYLOR, G. D. Materials in construction. Longman Scientific & Technical, 2 ed., 1994.284p., London.

TOLEDO FILHO, R.D.; NASCIMENTO, J.W. B.; GHAVAMI, K. **Materiais não convencionais para construções rurais.** In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA,26,Campina Grande. Anais... Campina Grande: UFPB, 1997.

TOPÇU, I. B. **Assesment of the britleness index of rubberized concretes.**Cement and Concrete Research, vol 27, nº 2, pp. 177-183, 1997.

TOPÇU, I. B. **The properties of rubberized concretes.** Cement and Concrete Research, vol 25, nº 2, pp. 304-310, 1995

TOUTANJI, H. A..**The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates.**Cement and Concrete Composites, Barking, v.18, n.2, 1996.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, J. L. **Mechanical characterization of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres.** BuildingandEnvironment, 40, pp. 221-226, 2005.

TUTIKIAN, B., **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** Porto Alegre, 2004. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WATANABE, F.; LEE, J. Y. **Theoretical prededction of shear strength and failure mode of reinforced concrete beams.**ACI Structural Journal, Detroit, v.95, n.6, Dec. 1998.

WATANABE, L. T. **Qualidade plástica.** Revista Técnica. Junho, 2006. pp. 36-39.

WITTMANN, F. H. **On the Action of Capillary Pressure in Tresh concrete.** Cement and Concrete Research, vol 6, n 1, January 1976.

ZOLLO, R. F.; IILTER, J. A. **Plastic and drying shrinkage in concrete containing collated fibrillated polypropylene fiber.** In Developments in Fiber Reinforced Cement and Concrete, ed R. N. Swamy, R. I. Wagstaffe an D. R. OAKLEY. Proceedings RILEM Symposium, Sheffield, 1986.