

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE  
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA**

**Curso de Engenharia Civil**

**André Frederico Foguesatto**

**ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DE AREIA RESIDUAL  
DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO COMO  
AGREGADO PARA CONCRETO**

**Ijuí/RS**

**2007**

**André Frederico Foguesatto**

**ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DE AREIA RESIDUAL  
DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO COMO  
AGREGADO PARA CONCRETO**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

**Ijuí/RS**

**2007**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.**

---

Prof. Luís Eduardo Azevedo Modler, M. sc. Eng. - Orientador

Banca Examinadora

---

Prof. Luciano Pivoto Specht , Dr. Eng.  
UNIJUÍ/DeTec

---

Prof. Lidiane Bittencourt Barroso, M. sc. Eng.  
UNIJUÍ/DeTec

*“Há homens que lutam um dia e são bons.  
Há homens que lutam um ano e são melhores.  
Há homens que lutam anos e são muito bons.  
Porém, há os que lutam toda a vida. Estes são imprescindíveis.”*

*Bertold Brecht.*

*Dedico este trabalho  
à minha mãe Liana  
e meu pai Valdir.*

*Agradeço a todos aqueles que de maneira direta ou indireta participaram da realização deste trabalho, e especialmente:*

- Ao professor Luís Eduardo Azevedo Modler pela orientação prestada.*
- Aos laboratoristas e amigos Luís Donato e Salete Zaltron pelos ensinamentos laboratoriais.*
- Ao Sr. Carlos Zamim pela doação dos materiais para pesquisa.*
- Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Civil da Unijui pela colaboração na realização deste trabalho.*

## RESUMO

A areia contaminada com resina fenólica, gerada na etapa de moldagem das peças metálicas nas indústrias de fundição, é atualmente um grave problema ambiental que o setor enfrenta. Parte desse resíduo vem sendo acumulado na própria empresa ou enviado para aterros industriais, causando sérios danos ao meio-ambiente. Os estudos realizados em relação à regeneração destas areias são motivados por fatores de ordem social, econômica e ambiental. Este trabalho visa estudar um reaproveitamento desse material como agregado miúdo na fabricação de concreto. Foram moldados corpos-de-prova de concreto com as diferentes composições de substituição de areia natural (25%, 50% e 75%) por areia residual do processo de fundição sem e com a adição de aditivo superplastificante MASTERMIX 470N. Para comparação, foram moldados corpos de prova sem a substituição de areia natural, denominados referência. Utilizando os ensaios de composição granulométrica, compressão e esclerometria obtiveram-se os resultados para análise do comportamento de sua utilização no concreto convencional. Analisando os dados chegou-se a condições favoráveis ao uso da areia de fundição nas composições sem aditivo superplastificante, onde se obteve altas resistências à compressão aos 7 dias. Sendo que seu ganho médio foi de 20,34%. Verificou-se que as resistências das composições sem aditivo mantiveram uma linearidade de crescimento da resistência, aos 28 dias possuíam resistência semelhante ao do traço referência. Entretanto os corpos-de-prova com composições de areia residual de fundição e com aditivo superplastificante MASTERMIX 470N, tiveram resultados de resistência inferiores ao de dosagem.

Palavras Chave: Areia de fundição, concreto, resistência à compressão.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Faixas granulométricas. ....	18
<b>Figura 2:</b> Brita Industrial. ....	19
<b>Figura 3:</b> Condições prévias e condicionantes do processo de fabricação do agregado .....	20
<b>Figura 4:</b> Descarte areia de fundição .....	25
<b>Figura 5:</b> O plástico usado como agregado alternativo .....	26
<b>Figura 6:</b> Poliestireno adicionado no concreto .....	28
<b>Figura 7:</b> Amostra de Entulhos.....	30
<b>Figura 8:</b> Tipos de Pavers .....	32
<b>Figura 9:</b> Lajota sextavada.....	34
<b>Figura 10:</b> Estufa de secagem de materiais .....	39
<b>Figura 11:</b> Materiais após pesagem .....	40
<b>Figura 12:</b> Betoneira .....	40
<b>Figura 13:</b> Medição abatimento do tronco de cone .....	41
<b>Figura 14:</b> Moldagem do corpo de prova prismáticos.....	42
<b>Figura 15:</b> Mesa vibratória .....	42
<b>Figura 16:</b> Sala com temperatura controlada.....	43
<b>Figura 17:</b> Câmara de cura.....	43
<b>Figura 18:</b> Prensa para ensaio de compressão .....	44
<b>Figura 19:</b> Ensaio de esclereometria.....	44
<b>Figura 20:</b> Relação resistência x idade para traço 1/6,5 sem o uso de aditivo superplastificante. ....	46
<b>Figura 21:</b> Ganho/perda média de resistência x idade para traço 1/6,5 sem o uso de aditivo superplastificante .....	46
<b>Figura 22:</b> Ganho/perda média de resistência x composição para traço 1/6,5 sem o uso de aditivo superplastificante. ....	47
<b>Figura 23:</b> Relação Resistência x Idade para traço 1/6,5 com o uso de aditivo superplastificante. ....	48
<b>Figura 24:</b> Ganho/perda média de resistência x idade para traço 1/6,5 com o uso de aditivo superplastificante. ....	48
<b>Figura 25:</b> Ganho/Perda média de Resistência x Composição para traço 1/6,5 com o uso de aditivo superplastificante. ....	49



<b>Figura 26:</b> Relação Resistência x Idade para traço 1/6,5 com e sem o uso de aditivo superplastificante. ....	50
--	----

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Requisitos granulométricos para agregados miúdos.....	17
<b>Quadro 2:</b> Porcentagens dos tamanhos de grão.....	17
<b>Quadro 3:</b> Requisitos granulométricos para agregados miúdos.....	19

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Diferentes percentuais de substituição adotados para.....	38
<b>Tabela 2:</b> Diferentes percentuais de substituição adotados para.....	38
<b>Tabela 3:</b> Planilha de composição de materiais .....	39
<b>Tabela 4:</b> Abatimento de tronco do cone para composições sem aditivo.....	41
<b>Tabela 5:</b> Abatimento de tronco de cone para composições com aditivo.....	41
<b>Tabela 6:</b> Resistência superficial para os prismas sem o uso de aditivo.....	51
<b>Tabela 7:</b> Resistência superficial para os prismas com o uso de aditivo .....	51

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 TEMA DA PESQUISA</b> .....	13
<b>1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA</b> .....	13
<b>1.3 FORMULAÇÃO DAS QUESTÕES DE ESTUDO</b> .....	13
<b>1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO</b> .....	13
1.4.1. Objetivo geral .....	13
1.4.2 Objetivos Específicos.....	13
<b>1.5 JUSTIFICATIVAS</b> .....	14
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 CONCRETO</b> .....	15
<b>2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO</b> .....	15
2.2.1 Cimento .....	15
2.2.2 AGREGADOS MINERAIS.....	16
<b>2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO LIGADAS AOS AGREGADOS</b> .....	22
<b>2.4 AGREGADOS ALTERNATIVOS PARA CONCRETO</b> .....	25
2.4.1 Areia de fundição.....	25
2.5.1 Plástico.....	26
2.4.3 Poliestireno.....	27
2.4.4 Bambu .....	28
2.4.5 Entulho .....	29
<b>2.5 ARTEFATOS DE CONCRETO</b> .....	31
2.5.1 Paver.....	31
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO</b> .....	35
<b>3.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS</b> .....	35
3.2.1 Caracterização dos materiais.....	36
3.2.2 Traço Auxiliar.....	38
3.2.3 Fator a/c para o traço 1/6,5 (35MPa).....	38
3.2.4 Moldagem dos corpos-de-prova .....	38
3.2.5 Rompimento.....	43
3.2.6 Esclereometria .....	44
<b>4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO COM AREIA RESIDUAL DE FUNDIÇÃO</b> .....	45
<b>4.2 ESCLEREOMETRIA</b> .....	50
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>52</b>
<b>5.1 CONCLUSÃO</b> .....	52

<b>5.2</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>
	<b>ANEXO 1</b> .....	<b>56</b>
	<b>ANEXO 2</b> .....	<b>63</b>
	<b>ANEXO 3</b> .....	<b>65</b>



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA DA PESQUISA

Materiais de construção.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Estudo da possibilidade de utilização de materiais reciclados na fabricação de artefatos de concreto de cimento portland.

## 1.3 FORMULAÇÃO DAS QUESTÕES DE ESTUDO

É possível a utilização da areia residual de fundição na fabricação de concreto?

Existe influencias significativas nas propriedades do concreto com uso deste material?

## 1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO

### *1.4.1. Objetivo geral*

*Avaliar a possibilidade da substituição da areia natural pela areia residual do processo de fundição.*

### *1.4.2 Objetivos Específicos*

- *Analisar diferentes teores de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado proveniente do processo de fundição (25%, 50% e 75%) no que tange às seguintes propriedades: Resistência à compressão, esclerometria e trabalhabilidade;*
- *Analisar as propriedades físicas dos agregados reciclados proveniente do processo de fundição com as propriedades dos agregados naturais;*
- *Avaliar a ação do aditivo no concreto produzido com areia de fundição..*

## 1.5 JUSTIFICATIVAS

Atualmente, a geração de resíduos pela indústria da construção civil é um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade. Em muitos países existem regulamentações que tratam da disposição e o gerenciamento desses rejeitos com a aplicação de elevadas taxas sobre os resíduos que são depositados no meio-ambiente.

Na Holanda, as atividades de pesquisa e desenvolvimento na área de reciclagem romperam as barreiras das universidades e, se transformaram em excelentes oportunidades de negocio para um significativo número de empresas privadas. Deve-se se destacar também que nesse país, a existência de legislações que contemplem os resíduos foi o responsável pelo índice de reaproveitamento chegar a 80% em relação a todos os resíduos gerados. (BUTTLER, 2003).

A implementação de regulamentos ambientais mais restritivos nos últimos anos tem obrigado as fundições a destinarem seus excedentes de areia para aterros controlados, muitas vezes distantes da fundição onerando consideravelmente seus custos. Por outro lado também se tem perdas econômicas pelo não aproveitamento desses materiais.

Segundo os dados da ABIFA (2003) - Associação Brasileira de Fundição, no Brasil se produz anualmente cerca de 2 milhões de toneladas de peças fundidas, gerando aproximadamente 2 milhões de toneladas de areia descartada do processo industrial. Estes números demonstram a dimensão do problema enfrentado pelas fundições, na área de preservação ambiental do território nacional. Desafia a cidadania empresarial deste setor para uma mudança de mentalidade dos empresários em relação ao destino que deve ser dado aos descartes de areia. A disposição dessa areia em aterros contribui de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais, principalmente nos grandes centros urbanos, constituindo tarefa potencialmente poluidora do solo e principalmente das águas superficiais e do subsolo.

Portanto deve-se não somente encontrar uma destinação mais adequada do ponto de vista e ambiental, mas também agregar valor a certos resíduos da indústria diminuindo assim o custo com a disposição de resíduos em aterros industriais.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 CONCRETO

Para Mehta (1994) o concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio aglomerante e, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água.

Mehta (1994) ainda cita que a humanidade esta consumindo aproximadamente 1 tonelada de concreto por habitante por ano.

### 2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

#### 2.2.1 Cimento

O cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de *clinker* constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam o seu emprego.

O *clinker* é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente.

O cimento Portland possui na sua composição total de óxidos, essencialmente cal, sílica, alumina e óxido de ferro, esses materiais chegam a compor 96%. Sua composição química pode ser modificada com a adição de novos compostos, criando assim algumas derivações do cimento que agregarão ou melhorarão algumas características do cimento portland.

Dentre as características do cimento Portland a finura é a que se destaca, sendo ela responsável pela velocidade da reação de hidratação do mesmo e tem sua influencia comprovada em muitas qualidades de pasta, das argamassas e dos concretos.

O aumento da finura melhora a resistência, particularmente a resistência da primeira idade, diminui a exsudação e outros tipos de segregação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos e diminui a expansão em autoclave (BAUER, 2000).

### **2.2.2 Agregados minerais**

Segundo Bauer (2000) os agregados constituem um componente importante no concreto, contribuindo com cerca de 80% do peso e 20% do custo de concreto estrutural sem aditivos. Suas características apresentam larga gama de variação, o que os leva, na tecnologia do concreto, a ser submetidos a acurado estudo e a controle de qualidade tanto antes como durante a execução da obra.

Mehta (1994) diz ainda que agregados de minerais naturais compreendem mais de noventa por cento do total dos agregados usados na produção de concreto. Os agregados são materiais considerados de baixo custo e não entram em reações químicas complexas com a água, portanto têm sido tratados como materiais de enchimento inerte ao concreto. Entretanto as propriedades dos agregados têm mostrado que seu papel na composição do concreto não é apenas de enchimento e tem papel importante na composição do concreto.

Os agregados classificam-se de acordo com a origem, dimensões das partículas e o peso específico aparente.

#### *a) Segundo a origem.*

- Naturais – Os que já se encontram em forma particulada na natureza: areia e cascalho.
  
- Industrializados – Os que têm sua composição particulada obtida por processos industriais.

#### *b) Segundo as dimensões das partículas*

- Miúdos – As areias.
- Graúdos – Os cascalhos e as britas.

A areia é considerada como agregado miúdo na construção civil. Os diâmetros limites adotados para classificar um agregado como areia variam conforme o ponto de vista em que se em cara a questão. Assumindo os diâmetros limites para agregado miúdo como sendo 0,15/4,8mm.

A areia, como material de construção, precisa de grãos formados por material consistente. Um granulado de grãos friáveis será apenas um material enquadrado na *fração areia*. O quadro 1 mostra os requisitos granulométricos para agregado miúdo.

Peneiras (Especificação R 11)	Porcentagem passante
9,5 mm	100
4,75mm	95-100
2,36mm	80-100
1,18mm	50-85
600µm	25-60
300µm	10-30
150µm	2-10

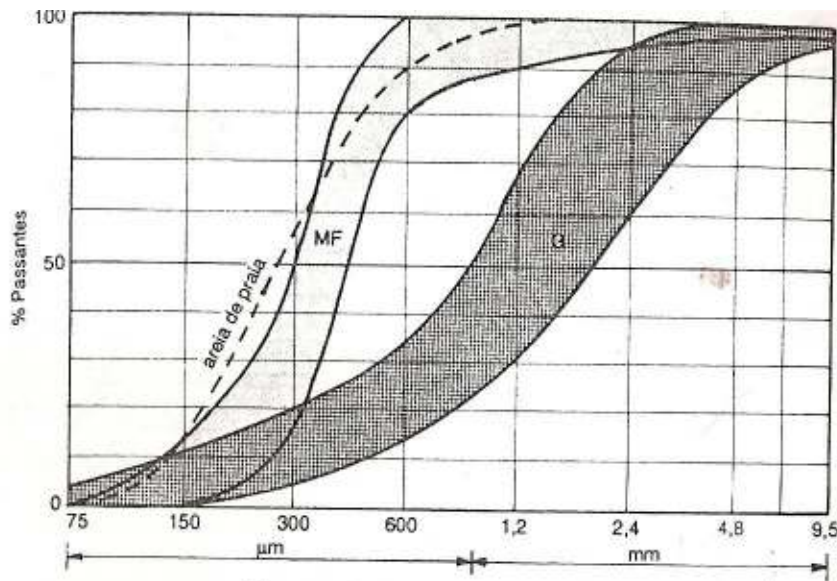
**Quadro 1:** Requisitos granulométricos para agregados miúdos.  
**Fonte: MEHTA (1994)**

O quadro 2 mostra as faixas granulométricas entre as areias.

muito fina	faixa 1	de 1,35 a 2,25
fina	faixa 2	de 1,71 a 2,85
média	faixa 3	de 2,11 a 3,38
grossa	faixa 4	de 2,71 a 4,02
areia de praia		1,39

**Quadro 2:** Porcentagens dos tamanhos de grão.  
**Fonte: BAUER (2000)**

Para uso em concreto, a Norma estabelece que a curva granulométrica se desenvolva entre os limites inferior e superior da tabela, que define os fusos granulométricos. (figura 1) que mostras as faixas extremas; G-grossa e MF-Muito fina.



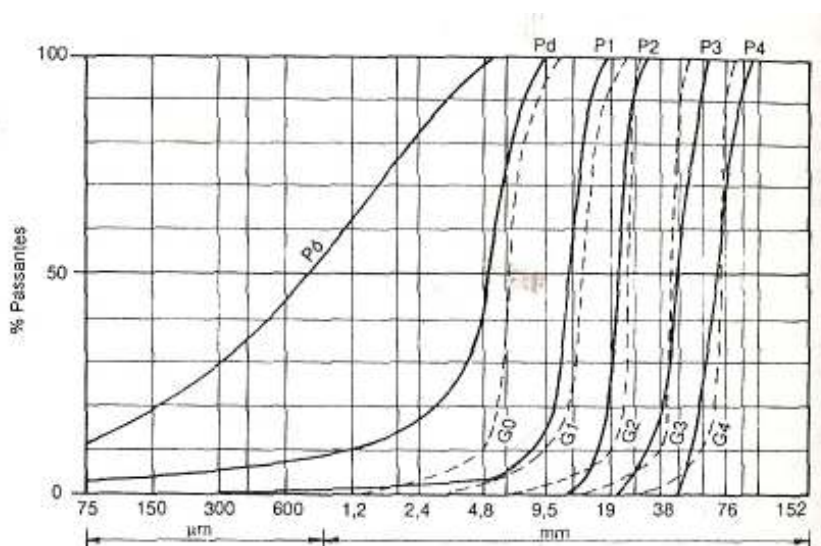
**Figura 1:** Faixas granulométricas.  
**Fonte:** BAUER (2000)

Segundo Mehta (1994) o termo agregado gráudo refere às partículas de agregados maiores do que 4,8mm (peneira nº4). Pedregulho é o agregado gráudo resultante da desintegração natural e abrasão da rocha ou do processamento mecânico (britagem) de conglomerados fracamente cimentados.

Para Bauer (2000) a pedra britada é o produto de cominuição de rocha que se caracteriza por tamanhos nominais de grãos enquadrados ente 2,4 e 64 mm.

Conforme o emprego a que se destina a brita é subdividido em diferentes faixas granulométricas, que variam de 0 a 4 conforme a norma NBR 7211/1983.

Comercialmente, a pedra britada é produzida em cinco categorias, denominadas, pedrisco e pedras 1 a 4, conforme mostra a figura 2.



**Figura 2:** Brita Industrial.  
**Fonte:** BAUER (2000)

*c) Segundo o peso Especifico Aparente*

Conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em leves, médios e pesados.

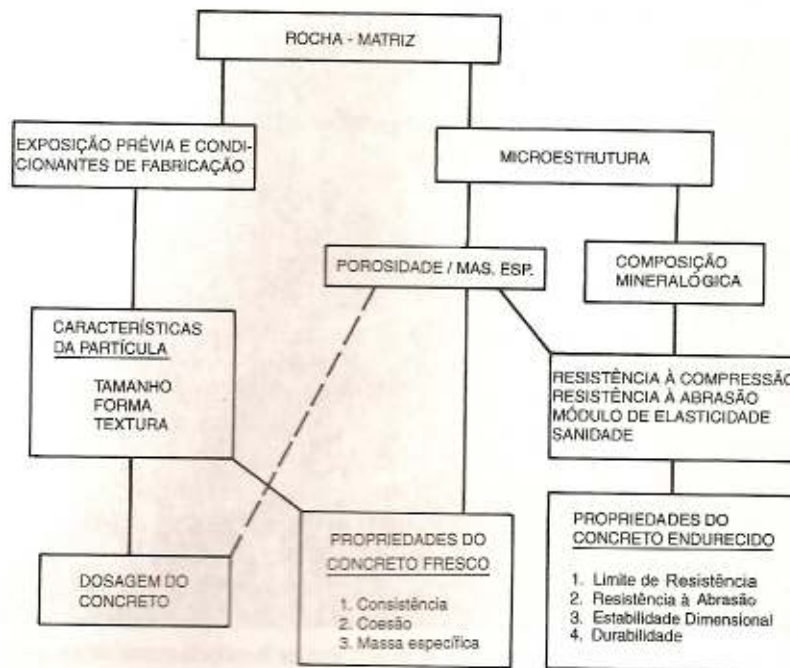
No quadro 3 relaciona alguns deles e os valores aproximados das médias das densidades aparentes.

Leves	Médios	Pesados
vermiculita 0,3	calcário 1,4	barita 2,9
argila expandida 0,8	arenito 1,45	ematita 3,2
escória granulada 1,0	cascalho 1,6	magnetita 3,3
	granito 1,5	
	areia 1,5	
	escória 1,7	

**Quadro 3:** Requisitos granulométricos para agregados miúdos.

**Fonte:** METHA (1994)

Segundo Mehta (1994) as características dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto incluem a porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes. Quanto às características com maior influência na dosagem estão massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade. Tanto as características dos agregados minerais para a tecnologia do concreto quanto às características para a dosagem, derivam da composição mineralógica da rocha matriz (figura 6).



**Figura 3:** Condições prévias e condicionantes do processo de fabricação do agregado que determinam suas características (MEHTA 1994)

As características dos agregados:

a) *Massa Específica*

Para fins de dosagem não é necessário. Para efeito de dosagem do concreto, é importante conhecer o volume ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes dentro das partículas. Portanto, é suficiente determinação da massa específica que é determinada pela massa do material por unidade de volume, incluindo os poros internos das partículas. Para muitas rochas comumente utilizadas a massa específica varia entre 2600 e 2700 kg/m<sup>3</sup>.

b) *Massa Unitária*

Necessária para a dosagem de concretos e, definida como massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. O fenômeno de massa unitária surge porque não é possível empacotar as partículas dos agregados juntas, de tal forma que não haja espaços vazios. O termo massa unitária é assim relativo ao volume ocupado por ambos agregados e vazios. A massa

unitária aproxima os agregados comumente usados em concreto normal varia de 1300 a 1750 kg/m<sup>3</sup>.

*c) Absorção*

Quando todos os poros permeáveis estão preenchidos e não há um filme de água na superfície, o agregado é dito estar na condição saturada superfície seca (SSS), quando o agregado está saturado e também há umidade livre na superfície, o agregado está na condição úmida ou saturada. Na condição seca em estufa, toda água evaporável do agregado foi removida pelo aquecimento a 100°C. Capacidade de absorção é definida como a quantidade total de água requerida para trazer um agregado da condição seca em estufa para a condição SSS; Absorção efetiva é definida como a quantidade de água requerida para trazer o agregado da condição seca ao ar para a condição SSS.

*d) Inchamento*

Dependendo do teor de umidade e composição granulométrica do agregado, pode ocorrer um aumento considerável do volume aparente da areia, porque a tensão superficial da água mantém as partículas afastadas. Como a maioria das areias são despachadas para uso na condição saturada, podem ocorrer grandes variações nos consumos por betonada. Por esta razão, a dosagem de concreto em massa tem se tornado uma prática normalizada na maioria dos países.

*e) Resistência à compressão, resistência à abrasão e módulo de Elasticidade.*

A resistência à compressão, resistência à abrasão e módulo de Elasticidade são propriedades inter-relacionadas, que são muito influenciadas pela porosidade. Os agregados naturais comumente usados na produção de concreto normal, são geralmente densos e resistentes; portanto, raramente são fatores limitantes da resistência e propriedades elásticas do concreto endurecido.

*f) Sanidade*

Considera-se que o agregado é instável quando mudanças no seu volume, induzidas pelo intemperismo, como ciclos alternados de umedecimento e secagem, resultam em deterioração do

concreto. Geralmente a instabilidade acontece em rochas que possuem a estrutura porosa. Algumas rochas, como a pumicita são capazes de absorver água e permanecerem estáveis. A sanidade dos agregados frente à ação do intemperismo é determinada pelo método ASTM C 88, que descreve o procedimento padronizado para a determinação direta da resistência do agregado à desintegração pela exposição cinco ciclos de umedecimento e secagem.

*g) Composição Granulométrica*

É a distribuição das partículas dos materiais granulares entre varias dimensões, e é usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas maiores ou menores do que cada uma das aberturas de uma serie de peneiras, ou de porcentagens entre certos intervalos de abertura das peneiras.

Tem influência direta na trabalhabilidade e no custo do concreto. Areias muito grossa geram um concreto menos trabalhável, uma areia muito fina necessita de muito mais água e, portanto muito mais cimento (MEHTA, 1994).

### **2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO LIGADAS AOS AGREGADOS**

As propriedades do concreto são alteradas pelas características dos agregados nele empregado.

*a) Resistência à compressão*

A resistência à compressão, do concreto, depende do fator água/cimento, que, por sua vez, depende da distribuição granulométrica do agregado. A distribuição granulométrica deverá ser tal que permita uma mistura de máxima compactidade, compatível com a peça a concretar.

- Fator água cimento (a/c): Esse conceito tem sido o pilar da tecnologia do concreto por quase um século; é um conceito conveniente e simples. Muito importante, criada a num tempo onde o concreto era feito usando apenas cimento portland. Hoje isso não é mais inteiramente verdadeiro, pois cimentos modernos incorporam uma pequena quantidade de calcário ou *filler* de sílica. (AÏTICIN, 2000).



Segundo Leonhardt e Monnig (1982), na reação química de pega é consumida uma quantidade de água de cerca de 15% do peso de cimento; para hidratação do cimento entre 36% e 42%, outra parte vai para a trabalhabilidade. Com o aumento do teor de água, diminuem a resistência e o módulo de elasticidade (E).

#### *b) Retração*

O agregado não tem influência na retração do concreto.

#### *c) Durabilidade*

O agregado deve ser inerte, não reagindo com os agentes a que o concreto estiver exposto. Não deve conter produtos que possam reagir com o aço das armaduras, nem ter componentes mineralógicos que reajam, quer com o meio ambiente, quer com o cimento (BAUER, 2000).

De algum tempo, já é reconhecido que o concreto não é invulnerável às ações externas, sejam estas de natureza física ou química ou de suas combinações.

Alguns conceitos tiveram que ser mudados com o tempo, e a preocupação com a durabilidade passou a ser um tema por demais explorado nos meios dos acadêmicos com intuito de explicar a deterioração do concreto.

Enfatiza-se que a obtenção de um concreto durável não depende apenas de suas características intrínsecas, determinadas pelas condições de produção, desde os processos de dosagem até a cura final das peças. É possível associar a durabilidade do concreto com sua permeabilidade, por sua vez uma função da porosidade, definida, em concretos bem dosados, pela reação água cimento (a/c) e pelas condições de produção, principalmente pelos processos de adensamento e cura. Acredita-se que uma relação a/c de 0,50 possa garantir uma impermeabilidade suficiente para o concreto como durável frente a condições normais de exposição, desde que observadas as demais condições de contorno (RECENA, 2002).

*d) Trabalhabilidade*

Segundo Bauer (2000), a forma dos grãos é a característica que mais afeta a trabalhabilidade de um concreto se mantidas inalteradas as demais variáveis do traço.

A forma cubóide do cascalho permite uma trabalhabilidade muito superior a dos grãos lamelares e alongados do basalto.

A distribuição granulométrica do agregado é outro fator que afeta a trabalhabilidade, por depender dela a água necessária a obtenção do teor a/c desejado. Os agregados muito finos necessitam de mais água para conseguir a trabalhabilidade necessária.

*e) Permeabilidade*

A distribuição granulométrica dos agregados tem influência na permeabilidade do concreto. Devem-se dosar os agregados de maneira a se obter uma mistura final de máxima compacidade, para conseguir os concretos menos permeáveis. Se a mistura final tiver uma distribuição descontínua, os concretos resultam permeáveis de baixa trabalhabilidade.

*f) Higroscopia (Ascensão Capilar)*

A ascensão capilar, ao contrário da permeabilidade, diminui quando aumenta o diâmetro médio dos capilares. Para um determinado concreto, se o nível da água externa que dá lugar a ascensão capilar se eleva, aumenta a pressão capilar, dando lugar ao que ocorre na permeabilidade na permeabilidade, onde a vazão aumenta com o aumento da pressão. Se a permeabilidade não apresentar inconvenientes, é possível reduzir a ascensão capilar preparando-se concretos sem finos ou com areia grossa, do que resultam grandes capilares. Para evitar ao mesmo tempo a permeabilidade e a higroscopia, a solução é o emprego de aditivos incorporadores de ar.

## 2.4 AGREGADOS ALTERNATIVOS PARA CONCRETO

### 2.4.1 Areia de fundição

O método de moldagem mais utilizado em todo o mundo para a produção de peças fundidas é a moldagem em areia. Pode-se estimar que mais de 80% das peças fundidas produzidas utilizam moldes feitos de areia aglomerada. O aglomerante mais comum é argila. Areias aglomeradas com argila são, em geral, empregadas para confeccionar os moldes. Após vários ciclos de operação as características da areia mudam tornando-a imprópria para a moldagem. A partir deste instante a areia tem que ser renovada gerando então o resíduo de areia de fundição. A areia a ser descartada é colhida em um ponto conveniente do sistema de transporte interno. Os pedaços de moldes que não se desagregam totalmente (torrões) e que ficam retidos na peneira rotativa também são rejeitados.

De modo geral, esses resíduos são classificados como não perigosos, classe II segundo a NBR 10004 da ABNT de 2004. Portanto, muitos desses materiais apresentam potencial para outras aplicações. O presente trabalho faz parte de um projeto em estudo que visa buscar uma destinação alternativa para a areia residual do processo de fundição com o objetivo de diminuir o impacto ambiental e os custos com a disposição dos resíduos em aterros industriais. Uma das soluções que está sendo investigada é a utilização desses resíduos como matéria-prima para a fabricação de artefatos de concreto.



**Figura 4:** Descarte areia de fundição

### 2.5.1 Plástico

Estudos de uma equipe de alunos de graduação da Escola Politécnica e da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, coordenados pela professora de engenharia civil Ana Catarina, eles estão desenvolvendo um projeto de iniciação científica com o objetivo de formar blocos de concreto com agregados plásticos reciclados, usados para substituir a brita. Conforme a figura 5.



**Figura 5:** O plástico usado como agregado alternativo

Os agregados são encontrados na forma de flocos plásticos, produzidos por cooperativas de catadores de lixo. Pequenos, leves e resistentes, eles substituem satisfatoriamente a brita sem acarretar prejuízos na resistência dos blocos. A idéia é substituir uma matéria prima não renovável, a brita, pelos pequenos flocos plásticos, sem perdas de qualidade no material final.

Segundo Catarina (2004) a medição preliminar de dimensão e massa específica demonstra que a resistência do material está de acordo com os padrões da Associação Brasileira de Normas Técnicas para confecção de blocos como elemento de vedação. Ressalta-se que, por ora, os blocos só seriam aplicados em divisões de ambientes (paredes). A função estrutural exige uma capacidade de suporte extrema, e seriam necessários mais testes antes de aplicar-se os blocos nessa função.

O bloco de concreto fabricado com resíduos plásticos se juntaria a um grupo de materiais com eficácia comprovada na substituição de recursos não renováveis por agregados reciclados, como tubos de esgoto, tintas e revestimentos (fórmica). Testes técnicos ainda estão em curso e que a viabilidade econômica só poderá ser avaliada posteriormente. Ainda falta a realização dos testes de compressão e absorção e faltam comprovações de que o plástico seja inerte a reações químicas

dentro da composição.

Embora a reciclagem de materiais plásticos seja cada vez maior. O Brasil já recicla mais de 35% de garrafas do tipo PET, por exemplo, o preço do agregado plástico ainda é mais caro do que o da brita. As pedreiras trabalham com custo de operação pouco elevado e a transformação de rejeitos plásticos em agregados é feita com consumo de energia elétrica, o que encarece o processo.

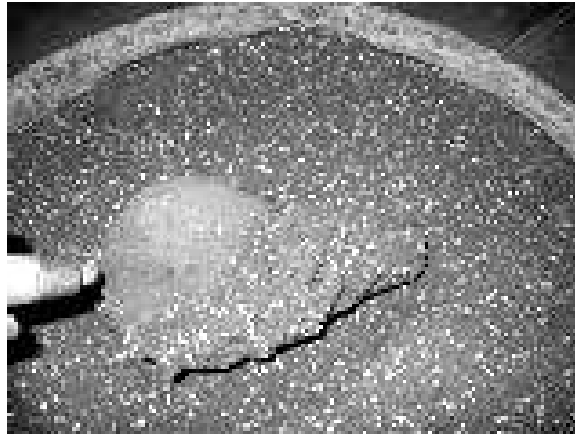
Catarina (2004) afirma que seriam necessários subsídios à produção dos blocos e os defende como política de proteção ambiental. Um problema ambiental com as pedreiras. Por mais que a brita seja mais barata do que o agregado, sua coleta acarreta danos irreversíveis ao meio ambiente, além de prejudicar a saúde de populações próximas.

### **2.4.3 Poliestireno**

Nas últimas décadas têm sido grandes os esforços dos pesquisadores na busca por mais informações e conhecimentos sobre como se poderá continuar provendo o desenvolvimento das cidades sem que isso ocorra de forma agressiva ao meio ambiente. A reciclagem e o reaproveitamento de materiais que ainda possuem grande potencial de aplicabilidade são vistos como as soluções mais evidentes em direção ao desenvolvimento sustentável.

Medeiros et al (2006) destaca ainda que o reaproveitamento do EPS (poliestireno expandido) como material de construção contribui com a redução dos problemas ambientais causados por este material, que pode ser facilmente encontrado em aterros sanitários e lixões a céu aberto. Estes armazenamentos podem acarretar graves problemas, pois esse material ocupa muito espaço e acumula água da chuva tornando o ambiente adequado para reprodução de insetos e obstruem os canais dos rios causando enchentes.

O isopor é um produto sintético proveniente do petróleo que quando reciclado pode ser usado como agregado adicionado ao concreto para blocos de alvenaria de vedação, concreto leve, enchimento de lajes, etc. Como pode-se ver na figura 6.



**Figura 6:** Poliestireno adicionado no concreto  
**Fonte:** Catarina (2004)

Em pesquisas bibliográficas o uso desse material demonstra ser bastante vantajoso, pois oferece características desejáveis em se tratando de edificações, por ser um ótimo isolante térmico e acústico, e ter um baixo peso específico motivando desta forma o estudo com este material.

No Brasil, o consumo de EPS (isopor), variou de 9 mil toneladas em 1992 para 36,5 mil no ano de 2004, um aumento de quase 300%. No intuito de descobrir se o uso de resíduo de EPS em traço para alvenaria atenderia as normas técnicas com relação a sua resistência mecânica com vistas a sua utilização futura. Catarina (2004).

#### **2.4.4 Bambu**

Ainda não se despertou no país as potencialidades que o bambu pode oferecer, é necessário que continue-se a insistir neste sentido para que a população rural assimile a tecnologia e veja quantas vantagens poderão ganhar com a utilização deste vegetal que poderá ser muito abundante em pouco tempo de cultivo. Os dois grupos de bambu se propagam em forma de touceiras e os alastrantes são desenvolvidos de forma assexuada ao longo do tempo, atingindo altura e diâmetro dos colmos máximos aos seis meses de idade.

Segundo Silva e Faria (2005), podem-se preparar extensas áreas para cultivos comerciais do bambu no país, que oferece todas as condições climáticas para o tipo entouceirante, dos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Guadua* e *Thyrsotachys*. Os dados a seguir foram obtidos com o uso do bambu da espécie *Bambusa tuldoides munro*.

Pelo que já se sabe do cultivo do bambu é muito promissor sua exploração industrial nos setores seguintes:

- celulose e papel;
- álcool etílico;
- amido;
- alimento;
- fibras para armaduras de concreto;
- etc.

Vários programas de exploração do bambu podem ser implementados de acordo com planejamento adequado para a região de seu cultivo de forma que as espécies sejam selecionadas tendo em vista a sua exploração.

#### **2.4.5 Entulho**

As características ainda marcantes, em grande parte do setor, continuam sendo as falhas no gerenciamento, a baixa produtividade, e as perdas de tempo e de materiais, o que contribui para que o índice de desperdício permaneça próximo dos históricos 30%. Porém, algumas empresas que se posicionaram em busca da conquista de qualidade, começam a apresentar resultados promissores, como o aumento da produtividade e a redução do desperdício. São apenas os primeiros passos, exemplos pioneiros e localizados, que necessitam ser seguidos e aperfeiçoados pela construção civil de um modo geral, desde as pequenas até às grandes empresas.

Conforme Zordan (1997) como a intenção principal é a redução de custos, as construtoras estão aliando às novas formas de economizar, preconizadas pelos métodos de qualidade, a reciclagem do resíduo que ainda é produzido.

A figura 7 mostra o entulho a ser utilizado nos estudos.



**Figura 7:** Amostra de Entulhos  
**Fonte:** Zordan (1997)

O significativo aumento desta consciência ambiental, que aos poucos começa a fazer parte de do dia-a-dia, somado ao aumento dos custos, e à oposição pública para a instalação de novos aterros, está fazendo não só as empresas, mas também à administração pública, reavaliarem suas práticas.

Os resíduos de construção e demolição respondem por uma significativa parcela dos resíduos sólidos municipais. Gerenciá-los, numa grande cidade, é muito oneroso e difícil, e a tendência é que estas dificuldades aumentem na mesma proporção do volume gerado. Velhos aterros de inertes estão rapidamente sendo preenchidos e, locais para a implantação de novos estão se tornando cada vez mais escassos e afastados das cidades.

Cada vez mais, são necessárias alternativas mais amplas e tecnologicamente complexas. No Brasil, algumas prefeituras, tentando solucionar o problema, estão partindo para a reciclagem dos entulhos em usinas montadas com essa finalidade.

ZORDAN (1997) também mostra que as primeiras a serem implantadas, como a de Itatinga, na cidade de São Paulo, e a de Londrina, no Paraná, não tiveram o efeito esperado devido a erros de planejamento, o que as tornaram ociosas. Mas existem exemplos com sucesso, como o da cidade de Belo Horizonte, MG, que iniciou um programa de reciclagem de entulho, incluindo a instalação de 4 usinas de reciclagem. A primeira delas está operando eficientemente desde novembro de 1995. Ribeirão Preto, e São José dos Campos, ambas no interior de São Paulo, também terão, em breve, suas usinas de reciclagem, planejadas pelos mesmos profissionais da cidade mineira.



Nestas usinas, blocos, argamassa dura, cerâmica, areia, pedra, concreto, enfim, a fração mineral do entulho, exceto o gesso, é reaproveitável, podendo se transformar em argamassas, sub-base de pavimentação, blocos de alvenaria, material para contenção de encostas, etc. Tudo isso contribuindo para a preservação do meio ambiente e da qualidade de vida nas cidades.

Por mais que haja uma constante reavaliação para o aperfeiçoamento dos processos construtivos, de forma a reduzir os custos e a quantidade de material desperdiçado, não há nenhuma mágica que possa ser feita, sempre haverá algo inevitavelmente perdido. Por isso, existe a necessidade de se encontrar soluções para o problema dos resíduos, com formas práticas de reciclagem na própria obra ou em usinas apropriadas. A reciclagem, além de proporcionar melhorias significativas do ponto de vista ambiental, introduz no mercado um novo material com grande potencialidade de uso, transformando o entulho, novamente, em matéria prima.

Assim, pesquisas sobre os materiais confeccionados a partir da fração mineral do entulho, tornam-se úteis, tanto para a comprovação de sua qualidade, como para a divulgação do sucesso dessa prática ZORDAN (1997).

## **2.5 ARTEFATOS DE CONCRETO**

### **2.5.1 Paver**

Das antigas ruas coloniais, construídas com pedras, aos atuais pisos com blocos de concreto, um longo percurso tecnológico trouxe à pavimentação uniformidade, diversificação e ganhos de conforto para veículos e pedestres. Mais ecológicos do que os pavimentos em pedra ou asfalto, os novos pisos apresentam ainda facilidades construtivas e de manutenção.

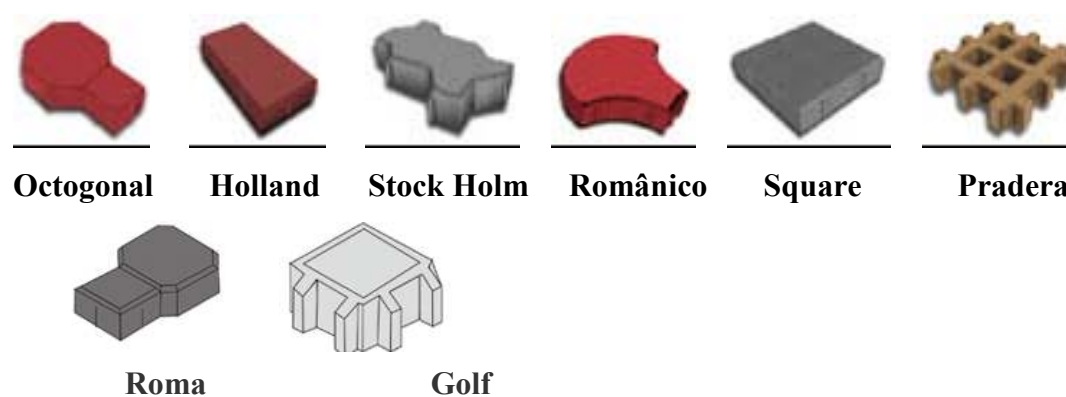
Em países europeus, o paver, como é conhecido, tem seu uso disseminado há décadas. Na Alemanha, onde foi criado nos anos 40, aplicam-se anualmente cerca de 40 milhões de metros quadrados em áreas diversas. Aí se incluem desde vias de tráfego pesado ou pátios industriais, até praças e ruas residenciais. Nestes casos, é a solução mais indicada em razão da superfície antiderrapante e por permitir a drenagem das águas de chuva.

Reúnem ainda vantagens como durabilidade, baixo custo e qualidade estética. Sua colocação não exige mão-de-obra especializada, e os blocos podem ser recuperados ou removidos rapidamente, sem quebra de peças. A implantação, a seco, começa pela compactação do solo, depois a compactação de uma camada de areia, e o assentamento, com placa vibratória. Há no mercado diversos tipos de blocos, de formatos e espessuras diferentes. O bloco de concreto pigmentado, um desenvolvimento dos anos 90, abriu novas possibilidades de uso em projetos paisagísticos. Com as cores, as obras ganharam desenhos e combinações geométricas. No Brasil, assim como em outras partes do mundo, o paver tem entrado cada vez mais em projetos de revitalização urbana.

Recomenda-se seu uso em áreas de trânsito de pedestres e veículos por reconhecer as seguintes vantagens, entre outras:

- Resistência e durabilidade;
- Redução da temperatura ambiental, comparado ao pavimento asfáltico;
- Redução dos gastos com iluminação da área;
- Possibilidade de manejo fácil de tubulações e interferências sob o pavimento;
- Alta permeabilidade do pavimento;
- Podem ser removidos e reutilizados;
- Alta resistência à abrasão;
- São esteticamente agradáveis e atraentes.

Na figura 8 pode-se ver alguns modelos de pavers que estão no mercado:



**Figura 8:** Tipos de Pavers

**Paver Octogonal** - Piso intertravado que dá a aparência final de ser formado por 2 peças diferentes, sendo bastante recomendado para estacionamento de veículos leves ou pesados, calçadas, praças, parques e áreas de lazer, contorno de piscinas, pátios, etc.

**Paver Holland** - pavimento intertravado, com design de maior sucesso no mercado internacional, devido a sua simplicidade e agradável sensação da boa estética.

**Paver Stock Holm** - Este tipo de pavimento foi especialmente produzido no sentido de se obter uma maior resistência. Os encaixes de suas 16 faces arredondadas permitem um acoplamento seguro entre as peças, garantindo a alta resistência da estrutura resultante, sendo bastante recomendado para ruas, acessos a indústrias e condomínios, estacionamentos de veículos pesados, postos de combustíveis, áreas de portos (de manobras de empilhadeiras, guinchos e estacionamento de containeres).

**Paver Românico** - Combinando-se peças de diferentes cores podemos obter formatos de pavimentos bastante agradáveis e de grande beleza, satisfazendo a criatividade do projetista/construtor. Entre suas aplicações mais comuns, temos, por exemplo: a utilização em pátios, calçadas, vias de acesso, etc. Também costuma ser bastante utilizado na restauração de centros históricos.

**Paver Square** - Este tipo de pavimento proporciona ampla resistência aliada a agradável efeito estético, garantido pela simplicidade de suas formas. Amplamente utilizado em calçadas, praças, parques, entradas de residências, contornos de piscinas, áreas de estacionamento com tráfego pesado, etc.

**Paver Pradera** - Peça elaborada de forma a permitir um crescimento normal da grama dentro de seu espaço interno, obtendo-se assim um duplo efeito de beleza e consistência em um pavimento de jardim, permitindo inclusive que veículos transitem sobre a superfície verde. Bastante recomendado para jardins, contornos de lagos e piscinas, parques, praças, áreas de lazer e também áreas de estacionamento de veículos leves.

**Paver Roma** - Pavimento intertravado com design de grande sucesso na Itália, dando a sensação de mosaico (resultado formado por duas peças diferentes).

**Paver Golf** - Pavimento intertravado especialmente projetado por engenheiros alemães para garantir boa estética e resistência em todos os tipos de obras.

Com um formato um pouco diferenciado, porém com as mesmas funções a lajota sextavada pode ser caracterizada como um tipo de paver. Mostra-se a lajota na figura 9.

Utilizada geralmente na composição de calçadas de vias públicas, praças, estacionamentos de veículos leves, etc.



**Figura 9:** Lajota sextavada

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO**

A pesquisa é da ordem experimental, quantitativa, sendo que foram realizados ensaios de laboratório com propósito de avaliar a resistência à compressão em corpos de prova de concreto de cimento Portland com substituição de agregado miúdo (areia natural por areia de fundição). Com e sem a utilização de um aditivo superplastificante.

#### **3.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS**

As atividades práticas desta pesquisa foram realizadas no laboratório de engenharia civil da UNIJULI, os procedimentos para realização dos ensaios seguiram os procedimentos do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). Foram realizados os seguintes ensaios, composição granulométrica, compressão, e esclerometria. Ensaados a partir de diferentes traços de agregado miúdo.

Os corpos-de-prova foram moldados em conformidade com a NBR 5738/1994, sendo que os primeiros utilizarão os traços originais, ou seja, sem as substituições da areia natural pela areia residual do processo de fundição, estes foram denominados referências. Sendo o traço referência 1/6,5 (35MPa).

Para cada composição foram moldados corpos-de-prova cilíndricos (10 cm de diâmetro e 20 de altura), prismas retangulares (15 cm de largura e 50 cm de comprimento) e pavers retangulares (10 cm de largura, 20 cm de comprimento e 6,5cm de espessura).

Cada artefato de concreto foi submetido a ensaios para caracterização de suas propriedades físicas, dimensionais e estruturais.

a) No caso dos corpos de prova cilíndricos serão executados os seguintes ensaios:

- **Compressão Axial:** Serão moldados 2 corpos de prova de cada traço para rompimento aos 7, 14 e 21 e 2 corpos de prova para os 28 dias (foi moldado mais um CP para os 56 dias, os quais ficaram fora do prazo de entrega dos resultados).

b) Para os prismas retangulares foi executado o ensaio:

- **Esclereometria:** Foram moldados dois prismas para cada traço, ensaiados aos 28 dias.

O ensaio de esclereometria determina a resistência superficial (medida até 2,5 cm de profundidade).

### 3.2.1 Caracterização dos materiais

A qualidade do concreto esta intimamente ligada às características dos agregados. Agregados com baixas especificações físicas e químicas podem reduzir a resistência do concreto e sua durabilidade. Portanto fica evidenciada a importância de conhecer as características dos materiais que compõem o concreto, pois influenciam na resistência, durabilidade e também na dosagem.

#### 3.2.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o ARI (alta resistência inicial), doado pelo Sr. Carlos Zamin da fundição FUNDIMISA.

#### 3.2.1.2 Agregados

Os agregados miúdos utilizados foram a areia natural e a areia residual do processo de fundição, doada pelo Sr. Carlos Zamin da fundição FUNDIMISA, localizada na cidade de Santo Ângelo/RS.

Seus dados estão nos anexos 3.

Suas características granulométricas analisadas conforme a NBR 7217/1987, NBR 9776/1987 e NBR 9937/1987, obtiveram os resultados a seguir:

**Areia natural:**

- Diâmetro Máximo ( $\emptyset$ ): 1,2mm
- Módulo de Finura (#): 2,017
- Massa Unitária Solta: 1,600 kg/dm<sup>3</sup>
- Massa Específica Absoluta: 2,597 g/cm<sup>3</sup>

**Areia de fundição**

- Diâmetro Máximo ( $\emptyset$ ): 0,6mm
- Módulo de Finura (#): 1,29
- Massa unitária Solta: 1,412 kg/dm<sup>3</sup>
- Massa Específica Absoluta: 2,538 g/cm<sup>3</sup>

**3.2.1.3 Agregado graúdo**

O agregado graúdo utilizado no estudo foi a pedra brita número 1 (basalto), doada pelo Sr. Carlos Zamin da fundição FUNDIMISA.

Suas características granulométricas foram analisadas e obtiveram-se os seguintes resultados:

- Diâmetro Máximo ( $\emptyset$ ): 6,3mm
- Módulo de Finura (#): 6,92
- Massa unitária Solta: 1,574 kg/dm<sup>3</sup>

**3.2.1.4 Aditivo superplastificante**

O aditivo superplastificante utilizado foi o MASTERMIX 470N, doado pela UNIJUÍ.

### 3.2.2 Traço Auxiliar

O traço utilizado para a pesquisa foi o 1/6,5 (35MPa). Foi adotado esse traço por atender a sua utilização tanto em passeios públicos e jardins quanto em pátios de empresas, onde é mais solicitado a esforços mecânicos.

### 3.2.3 Fator a/c para o traço 1/6,5 (35MPa)

O fator A/C (água/cimento) utilizado em todas as moldagens foi de 0,60. Baseado em conhecimento prévio de estudos desenvolvidos no laboratório de engenharia civil da UNIJUÍ.

### 3.2.4 Moldagem dos corpos-de-prova

A moldagem dos corpos-de-prova foi realizada conforme a NBR 5738/1994.

Foram adotados diferentes percentuais de areia (areia natural e areia de fundição) para o traço: 1/6,5 com e sem o uso de aditivo superplastificante, conforme as tabelas 1 e 2.

Agregado	Composição do agregado miúdo (%)				Aditivo (%)
	Referência	A	B	C	
Areia natural	100	75	50	25	0
Areia de fundição	0	25	50	75	0

**Tabela 1:** Diferentes percentuais de substituição adotados para o traço 1/6,5 sem o uso de aditivo superplastificante.

Agregado	Composição do agregado miúdo (%)				Aditivo (%)
	Referência	A1	B1	C1	
Areia natural		75	50	25	1,5
Areia de fundição		25	50	75	1,5

**Tabela 2:** Diferentes percentuais de substituição adotados para o traço 1/6,5 com o uso de aditivo superplastificante.



Para a moldagem dos corpos-de-prova foram primeiramente determinadas as quantidades necessárias, em peso, de concreto para a moldagem. Utilizando a ferramenta *Excel* foi realizada a composição das quantidades solicitadas, conforme Tabela 1.

											PESO TOTAL 112,0																																																																																							
Nº CP's 9																																																																																																		
TEOR DE ARGAMASSA ADOTADO (%):											51																																																																																							
Traços auxiliares UNITÁRIOS											ÁGUA INICIAL	ADITIVO DA MISTURA	ÁGUA FINAL	A/C FINAL																																																																																				
areia																																																																																																		
0%											25%											50%											75%																																																																	
natural											fundição											natural											fundição											natural											fundição											natural											fundição											pedra										
1/6,5	1	2,825	0,000	2,119	0,706	1,413	1,413	0,706	2,119	3,675	8,96	0,224	8,96	0,6000																																																																																				
Traços auxiliares MOLDAGEM																																																																																																		
areia																																																																																																		
0%											25%											50%											75%																																																																	
natural											fundição											natural											fundição											natural											fundição											pedra																																
14,93	42,19	0,000	31,64	10,547	21,09	21,093	10,55	31,640	54,88																																																																																									

**Tabela 3:** Planilha de composição de materiais

Os agregados graúdos e miúdos foram colocados na estufa de secagem por mais ou menos 24 horas, conforme a figura 10.



**Figura 10:** Estufa de secagem de materiais

Com a utilização da balança do laboratório foi realizada a pesagem dos materiais (água, cimento, areia natural, areia residual e brita), o aditivo foi pesado na balança de precisão, a figura 10 mostra os materiais pesados. A betoneira foi imprimada com cimento e areia antes da colocação dos materiais. A ordem de mistura foi, primeiramente a brita, parte da água deixava-se misturar por 1 minuto e era acrescido o cimento, que também permanecia por 1 minuto

misturando. Por fim coloca-se a areia de fundição, posteriormente a areia natural e o aditivo diluído no restante da água. Assim ficava mais 1 minuto rodando a mistura na betoneira. Os materiais utilizados estão demonstrados na figura 11.



**Figura 11:** Materiais após pesagem

A amostra foi misturada por 5 minutos, até a sua homogeneização, conforme figura 12. Em seguida era verificada a sua consistência através do ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*) especificado na NBR 7223/1982, conforme figura 13.



**Figura 12:** Betoneira



**Figura 13:** Medição abatimento do tronco de cone

Os resultados dos testes de abatimento de tronco do cone para as composições com e sem aditivo estão nas tabelas 4 e 5 respectivamente.

<i>Slump Test (cm)</i>			
Composição sem aditivo superplastificante			
Referência	25%	50%	75%
5,5	5,5	2	0

**Tabela 4:** Abatimento de tronco do cone para composições sem aditivo

<i>Slump Test (cm)</i>			
Composição com aditivo superplastificante			
Referência	25%	50%	75%
5,5	Sem tronco	21	17,5

**Tabela 5:** Abatimento de tronco de cone para composições com aditivo

Então o concreto era lançado nas formas que já estavam untadas com óleo desmoldante. O adensamento era realizado conforme a NBR 5738/1994, com 12 golpes em duas camadas para os CP's cilíndricos e para os CP's prismáticos eram realizados 64 golpes também em duas camadas, mostrado na figura 14. Para os *pavers* a moldagem era direta nas formas metálicas de 4 unidades, o adensamento era realizado na mesa vibratória, como mostra a figura 15.



**Figura 14:** Moldagem do corpo de prova prismáticos



**Figura 15:** Mesa vibratória

Após a moldagem os CP's eram levados para uma sala com temperatura controlada em  $\pm 23^{\circ}\text{C}$ , mostrada na figura 16, onde ficavam por mais ou menos 24 horas para a posteriormente serem desmoldados, feitas as medições diametrais e levados para a câmara de cura, conforme figura 17.



**Figura 16:** Sala com temperatura controlada



**Figura 17:** Câmara de cura

### **3.2.5 Rompimento**

Os rompimentos (ensaio de compressão) foram realizados conforme as idades de 7, 14, 21 e 28 dias para cada corpo-de-prova seguindo a NBR 5739/1994. Para tanto era feito um capeamento com enxofre derretido. Garantindo assim uma superfície plana e uniforme.

O rompimento era realizado com a utilização da prensa do laboratório de engenharia civil da UNIUJUÍ mostrada na figura 18. As leituras foram registradas conforme anexo 1 e analisadas conforme a NBR 7215/1996.



**Figura 18:** Prensa para ensaio de compressão

### 3.2.6 Esclereometria

Ensaio de esclereometria tem a finalidade de obter a resistência superficial do objeto de concreto. O ensaio de esclereometria foi realizado nos corpos-de-prova prismáticos quando obtinham a idade de 28 dias. Nas extremidades de uma das faces dos CP's foram marcados os pontos para ensaio. Na face oposta utilizaram-se pontos no centro. Estes pontos estavam distanciados em no mínimo 2 cm entre si. Nos pontos marcados eram realizados os ensaios em ângulo de 90 graus conforme a figura 19.

As leituras realizadas mostram números em módulo, os quais são jogados em uma planilha elaborada pelo laboratório de engenharia civil da UNIUJUÍ. Os resultados dessa planilha é a resistência do concreto em seus primeiros 2,5cm. Os dados coletados estão no anexo 2.



**Figura 19:** Ensaio de esclereometria

## 4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Esse capítulo apresenta a os resultados e análises dos ensaios realizados no estudo proposto, conforme procedimentos citados.

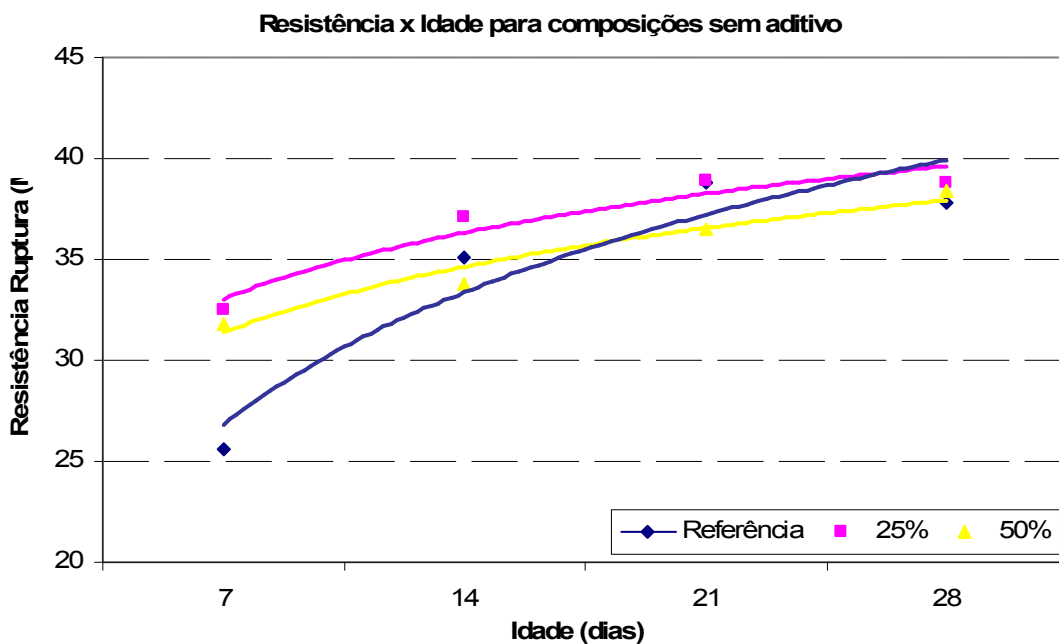
Os dados foram analisados com o uso do *software* Excel e apresentados em forma de gráficos e/ou tabelas que mostram de maneira clara e objetiva os resultados obtidos, mostrando uma tendência de comportamento dos concretos com o uso da areia residual do processo de fundição, com e sem o uso de aditivo superplastificante.

### 4.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO COM AREIA RESIDUAL DE FUNDIÇÃO

A realização dos ensaios de compressão determina a resistência potencial de um concreto à compressão. A resistência esta diretamente ligada a sua durabilidade e segurança, portanto é um fator que indica a existência, ou não, de algum problema relacionado ao concreto.

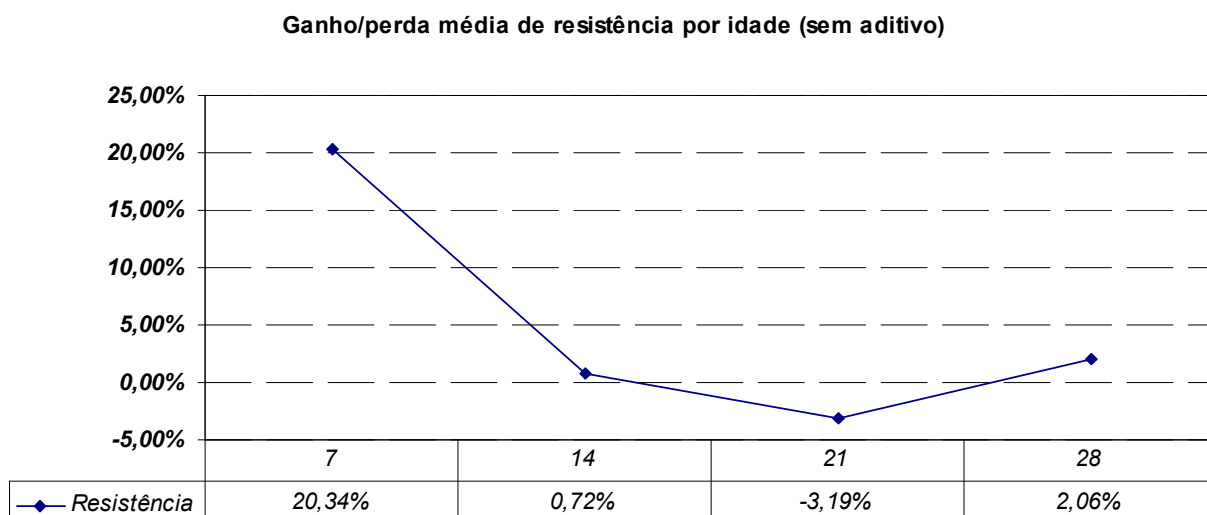
Analisando a figura 20 podemos constatar que quase todas as composições do traço 1/6,5 atingiram uma resistência maior que a resistência de dosagem (35MPa). Também podemos analisar que a areia residual de fundição apresentou resultados que se não semelhantes, melhores que o traço referência, com uma linearidade na curva de crescimento da resistência. Apenas o traço com a composição de 75% de areia de fundição não pode ser analisado devido à incapacidade de ser moldado. Onde não apresentava resistência de coesão e obteve abatimento do tronco de cone 0 (zero).

Pode-se ainda verificar que aos 7 dias a resistência dos traços que contem na sua composição areia residual de fundição apresenta resistências bem superiores ao traço referência. Essa diferença vai diminuindo conforme vai aumentando a idade de rompimento dos corpos de prova.



**Figura 20:** Relação resistência x idade para traço 1/6,5 sem o uso de aditivo superplastificante.

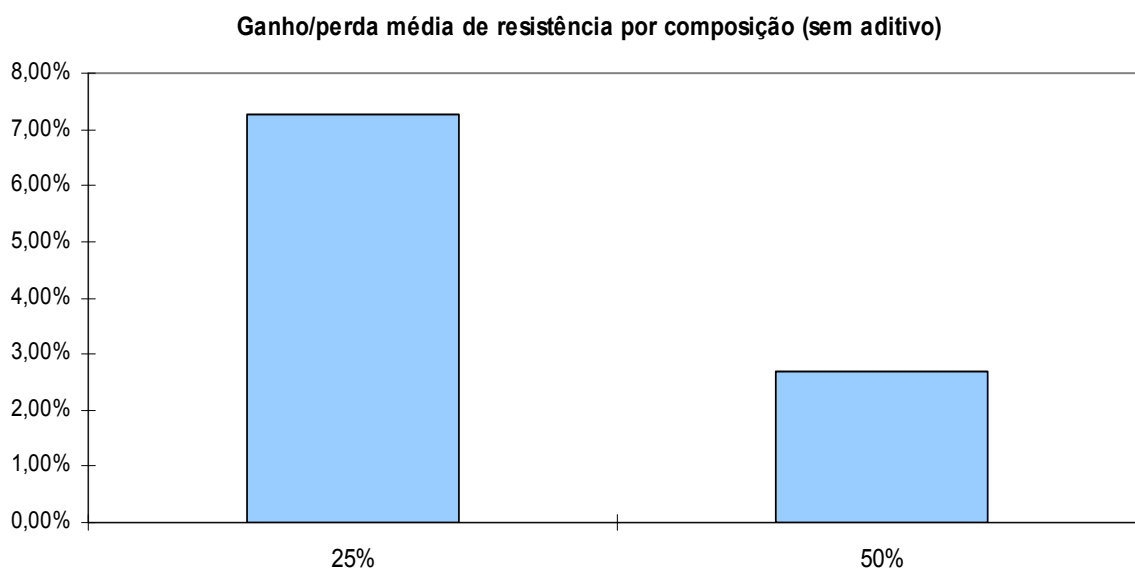
A figura 21, mostra em percentual os ganhos/perdas médias de resistência por idade para o traço 1/6,5 sem o uso de aditivo superplastificante, tomando como base os resultados obtidos pelo traço referência, sendo que a melhor performance foi obtida nos 7 dias de idade 20,34% e a pior media por idade ficou aos 21 dias onde obteve perda de 3,19%.



**Figura 21:** Ganho/perda média de resistência x idade para traço 1/6,5 sem o uso de aditivo superplastificante



Ainda comparando o traço sem o uso de aditivos superplastificante, podemos fazer a análise de ganho/perda média por composição do traço 1/6,5 individualmente, conforme a figura 22.

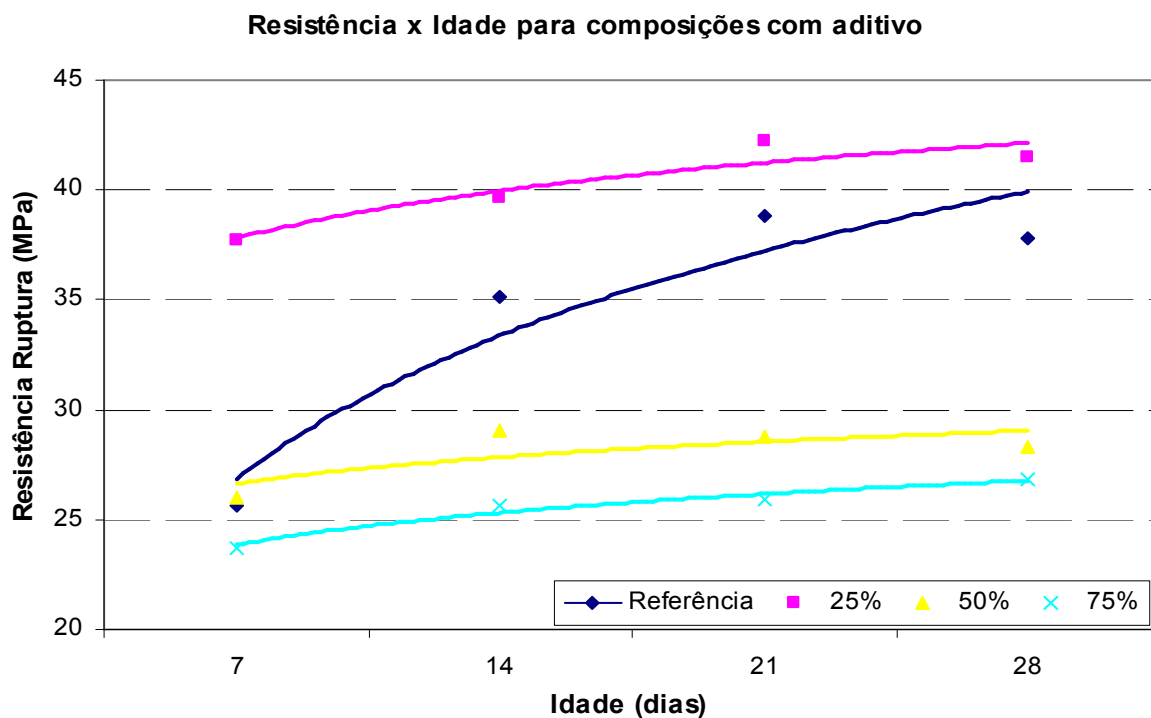


**Figura 22:** Ganho/perda média de resistência x composição para traço 1/6,5 sem o uso de aditivo superplastificante.

Já na figura 23 a análise é com relação aos traços que possuem troca de parte da areia natural por areia residual de fundição, porém com a adição de 1,5% de aditivo superplastificante.

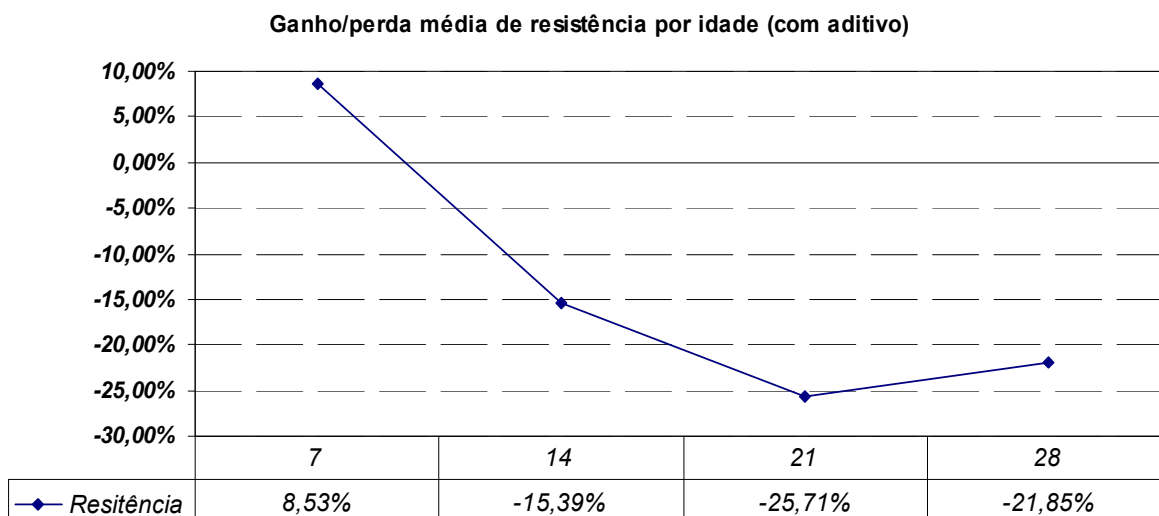
Constata-se aqui a diferença de resistência aos 7 dias, que agora não mais é vantajosa nos traços com adição de areia residual de fundição, com exceção do traço com 25% de adição de areia de fundição, o qual fugiu totalmente da regra que os outros ensaios vinham apresentando. Sendo que este apresenta aos 28 dias a maior resistência à compressão entre todos os traços e composições.

Neste estudo constata-se que os traços com areia residual de fundição não conseguem atingir a resistência de dosagem (35MPa).



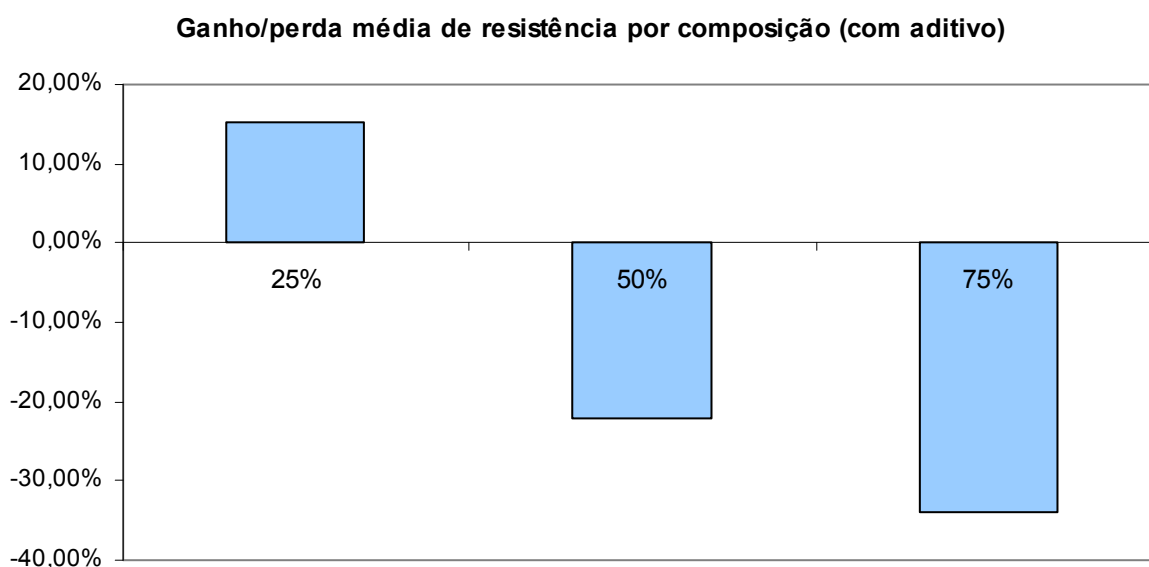
**Figura 23:** Relação Resistência x Idade para traço 1/6,5 com o uso de aditivo superplastificante.

A figura 24 mostra em percentual os Ganhos/perdas de resistência média por idade para o traço 1/6,5 com o uso de aditivo superplastificante, tomando como base os resultados obtidos pelo traço referência, sendo que a melhor performance foi obtida nos 7 dias de idade 8,53% e a pior media por idade ficou aos 21 dias onde obteve perda de 25,71%.



**Figura 24:** Ganho/perda média de resistência x idade para traço 1/6,5 com o uso de aditivo superplastificante.

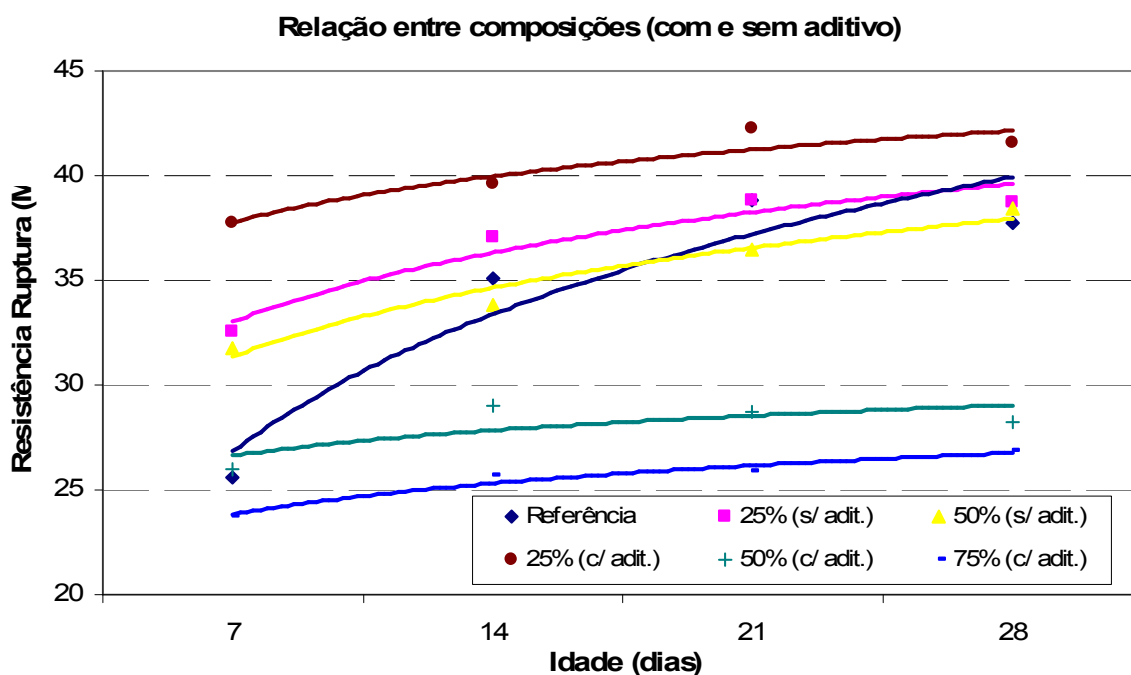
Agora comparando o traço com o uso de aditivos superplastificante, podemos fazer a análise de ganho/perda média de resistência por composição do traço 1/6,5 individualmente, conforme a figura 25.



**Figura 25:** Ganho/Perda média de Resistência x Composição para traço 1/6,5 com o uso de aditivo superplastificante.

Na figura 26 podemos ver uma comparação entre todas as composições (25%, 50% e 75%) com e sem aditivo superplastificante para o traço 1/6,5. Onde se pode visualizar o comportamento da resistência média entre si.

Visualizamos nele que o traço que o melhor resultado quem obteve foi o com 25% de troca da areia natural pela areia residual de fundição e com adição de 1,5% de aditivo superplastificante, porém este resultado é inesperado, tendo em vista que os outros traços com adição de areia residual de fundição obtiveram performances inferiores ao traço referência.



**Figura 26:** Relação Resistência x Idade para traço 1/6,5 com e sem o uso de aditivo superplastificante.

## 4.2 ESCLEREOMETRIA

Analisando a tabela 6 dos ensaios de esclereometria, verifica-se que as resistências superficiais para os traços sem aditivo obtiveram-se resultados parecidos com os do traço referência. Já na tabela 7, os traços com aditivo tiveram resultados inferiores ao de referência.

Pode-se concluir que as resistências superficiais representam com fidelidade os resultados em ensaio de compressão dos respectivos traços e composições.

**Tabela 6:** Resistência superficial para os prismas sem o uso de aditivo

PONTO	POSIÇÃO	DESCRIÇÃO	RECUO EFETIVO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	
				MÉDIA	MÍNIMA
1	Vert	Extremo 1	29,5	22,85	16,75
2	Vert	Extremo 1	29,4	22,70	16,60
3	Vert	Eixo 1	30,6	24,56	18,34
4	Vert	Extremo 2	29,3	22,55	16,45
5	Vert	Extremo 2	28,6	21,50	15,44
6	Vert	Eixo 2	30,1	23,76	17,64
7	Vert	Extremo 3	29,0	22,10	16,00
8	Vert	Extremo 3	31,6	26,22	19,86
9	Vert	Eixo 3	30,2	23,92	17,78
10	Vert	Extremo 4	29,4	22,70	16,60
11	Vert	Extremo 4	28,6	21,35	15,30
12	Vert	Eixo 4	31,9	26,73	20,34
13	Vert	Extremo 5	30,4	24,24	18,06
14	Vert	Extremo 5	29,7	23,15	17,05
15	Vert	Eixo 5	30,4	24,08	17,92
16	Vert	Extremo 6	30,7	24,72	18,48
17	Vert	Extremo 6	31,6	26,05	19,70
18	Vert	Eixo 6	29,2	22,40	16,30

**Tabela 7:** Resistência superficial para os prismas com o uso de aditivo

PONTO	POSIÇÃO	DESCRIÇÃO	RECUO EFETIVO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	
				MÉDIA	MÍNIMA
1	Vert	Extremo 7	31,4	25,9	19,5
2	Vert	Extremo 7	31,3	25,7	19,4
3	Vert	Eixo 7	31,6	26,2	19,9
4	Vert	Extremo 8	33,6	29,5	22,9
5	Vert	Extremo 8	33,2	28,8	22,4
6	Vert	Eixo 8	34,4	30,8	24,1
7	Vert	Extremo 9	23,4	14,1	8,9
8	Vert	Extremo 9	23,8	14,6	9,4
9	Vert	Eixo 9	23,0	13,6	8,4
10	Vert	Extremo 10	24,5	15,6	10,2
11	Vert	Extremo 10	24,9	16,2	10,7
12	Vert	Eixo 10	25,5	17,0	11,4
13	Vert	Extremo 11	23,2	13,9	8,6
14	Vert	Extremo 11	23,0	13,5	8,3
15	Vert	Eixo 11	23,7	14,4	9,1

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÃO

Este estudo buscou avaliar de modo quantitativo a utilização da areia residual do processo de fundição na produção de concreto, em que uma finalidade possível é na fabricação de artefatos de concreto, como Pavers, lajotas sextavadas e meio fio.

Não foram encontrados muitos estudos realizados com essa areia, o que dificultou um pouco achar o ponto de início do trabalho. A literatura também fala muito pouco sobre a utilização deste material como agregado alternativo para concretos.

A análise granulométrica da areia de fundição nos mostrou alguns pontos diferenciados em relação ao material convencionalmente utilizado, como seu maior módulo de finura, menor massa específica solta e menor massa específica absoluta.

Com os testes de compressão e esclereometria pode-se concluir que a areia residual de fundição demonstrou resultados semelhantes às resistências de um traço sem a utilização dessa areia. O que mostra a possibilidade de utilização dela como agregado para o concreto, dando assim uma finalidade importante a um material que seria descartado. O valor agregado a esse material melhora a viabilidade econômica de estudos mais aprofundados.

Também pode-se concluir com os ensaios laboratoriais que a utilização de aditivo superplastificante em concretos com composições de areia de fundição teve uma eficiência elevada, dando alta trabalhabilidade a uma mistura que não apresentava boa trabalhabilidade, como mostra as tabelas de abatimento já citadas anteriormente. Porém a resistência à compressão foi prejudicada, não alcançando a resistência de dosagem.

Portanto quem apresenta o melhor resultado é o traço com 25% de troca e sem aditivo superplastificante. Com uma ótima resistência inicial e uma resistência aos 28 dias equivalente ao traço referência.

## **5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A seguir são apresentadas algumas sugestões para outros trabalhos de pesquisa.

- Analisar composições entorno da composição de 25% de troca sem aditivo;
- Analisar a micro textura da areia de fundição;
- Fabricar e analisar artefatos de concreto com areia de fundição;
- Estudar as alternativas econômicas para a areia de fundição;
- Analisar o uso da areia de fundição em concreto armado;
- Realizar análise química da areia de fundição;

## REFERÊNCIAS

AÍTICIN, Pierre Claude. **Concreto de Alto Desempenho**, Ed. Pini, 2000. (tradução de Serra, Geraldo G.).

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

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concretos. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Concreto – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217**: Agregados – Determinação da composição granulométrica: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776**: Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por Meio do Frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9937**: Agregados – Determinação da absorção e da Massa Específica de Agregado Graúdo. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7223**: Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento Tronco de Cone: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

BAUER, Falcão L.A. **Materiais de construção**. Volume 1, Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2000.

BUTTLER, Alexandre Marques. **Concreto com Agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**,



São Carlos, 2003. (Dissertação de mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia São Carlos – Universidade de São Paulo, 2003.

CATARINA, Ana. **Concreto verde**. Ciência Hoje on line. 2004.  
<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3744>. Acessado em 14/12/2007.

HELENE, Paulo. TERZIAN, Paulo. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**, Ed. Pini, Brasília DF, 1992.

MEDEIROS, K. F. et al. **Análise das propriedades físico mecânicas em blocos de cimento, com adição de isopor, sem função estrutural**. Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica Natal-RN, 2006.

METHA, Kumar P. MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**, Ed. Pini, São Paulo, 1994.

LEONHARDT, Fritz. MONNIG, Eduard. **Construções de concreto, princípios básicos de dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Volume 1. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 1982.

RECENA, Fernando A. Piazza. **Dosagem Empírica e Controle de Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland**, Ed. Edipucrs, Porto Alegre, 2002.

SILVA, Alba P. e FARIA, Josiane E. **Fabricação de postes de concreto armado com tiras de bambu**. Curso de engenharia Agrícola. Universidade estadual de Goiás. Anápolis, 2005.

ZORDAN, Sergio Eduardo. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, na área de saneamento). Universidade Estadual de Campinas São Paulo, 1997.

## ANEXO 1

Fichas de ensaios de compressão

<b>LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL</b>	<b>Material n: Data de entrada:</b>
--	---

**FICHA DE ENSAIO**

<b>Interessado:</b> André F. Foguesatto	<b>(Traço 1/6,5 referência)</b>
<b>Procedência do material:</b> Carlos Zamim	
<b>Data do recebimento:</b>	<b>Ensaiado por:</b>

**ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILINDRICO E/OU ARGAMASSA**

Identificação		Moldagem		Data do ensaio	Idade (dias)	Diâmetro (cm)		Área (cm <sup>2</sup> )	Resistência Ruptura	
Lab.	Obra	data	hora			Medido	Médio		Kgf	Mpa
344		10/10/2007		17/10/2007	7	10	10,005	78,62	19640	24,98
						10,01				
345		10/10/2007		17/10/2007	7	10,04	10,035	79,09	20260	25,62
						10,03				
346		10/10/2007		24/10/2007	14	10,08	10,055	79,41	27110	34,14
						10,03				
347		10/10/2007		24/10/2007	14	10,04	10,08	79,80	28010	35,10
						10,12				
348		10/10/2007		31/10/2007	21	10	10,025	78,93	30660	38,84
						10,05				
349		10/10/2007		31/10/2007	21	10,04	10,04	79,17	29480	37,24
						10,04				
350		10/10/2007		7/11/2007	28	10,06	10,075	79,72	30130	37,79
						10,09				
351		10/10/2007		7/11/2007	28	10,04	10,045	79,25	29760	37,55
						10,05				
352		10/10/2007		5/12/2007	56	10	10,02	78,85	33620	42,64
						10,04				
1	Prismático	10/10/2007								
2	Prismático	10/10/2007								

<b>LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL</b>	Material n: Data de entrada:
--	---------------------------------

### FICHA DE ENSAIO

**Interessado:** André F. Foguesatto (Traço 1/6,5 c/ 25%) sem aditivo  
**Procedência do material:** Carlos Zamim  
**Data do recebimento:** Ensaiado por:

#### ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILINDRICO E/OU ARGAMASSA

Identificação		Moldagem		Data do ensaio	Idade (dias)	Diâmetro (cm)		Área (cm <sup>2</sup> )	Resistência Ruptura	
Lab.	Obra	data	hora			Medido	Médio		Kgf	Mpa
388		16/10/2007		23/10/2007	7	10,07	10,1	80,12	26070	32,54
						10,13				
389		16/10/2007		23/10/2007	7	10,01	10,01	78,70	25480	32,38
						10,01				
390		16/10/2007		30/10/2007	14	10,02	10,03	78,93	29140	37,06
						10,03				
391		16/10/2007		30/10/2007	14	9,95	9,98	78,23	28690	36,67
						10,01				
392		16/10/2007		6/11/2007	21	10,04	10,04	79,09	30130	38,09
						10,03				
393		16/10/2007		6/11/2007	21	10,03	10,05	79,25	30800	38,86
						10,06				
394		16/10/2007		13/11/2007	28	10,01	10,06	79,49	30800	38,75
						10,11				
395		16/10/2007		13/11/2007	28	10,01	10,04	79,09	30660	38,77
						10,06				
396		16/10/2007		11/12/2007	56	10,08	10,08	79,80	33020	41,38
						10,08				
5	Prismático	16/10/2007								
6	Prismático	16/10/2007								

<b>LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL</b>	Material n: Data de entrada:
--	---------------------------------

### FICHA DE ENSAIO

**Interessado:** André F. Foguesatto (Traço 1/6,5 c/ 50%) sem aditivo  
**Procedência do material:** Carlos Zamim  
**Data do recebimento:** Ensaiado por:

#### ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILINDRICO E/OU ARGAMASSA

Identificação		Moldagem		Data do ensaio	Idade (dias)	Diâmetro (cm)		Área (cm <sup>2</sup> )	Resistência Ruptura	
Lab.	Obra	data	hora			Medido	Médio		Kgf	Mpa
379		16/10/2007		23/10/2007	7	10	9,995	78,46	24940	31,79
						9,99				
380		16/10/2007		23/10/2007	7	10,05	10,045	79,25	24270	30,62
						10,04				
381		16/10/2007		30/10/2007	14	10,04	10,01	78,70	26600	33,80
						9,98				
382		16/10/2007		30/10/2007	14	10,09	10,095	80,04	26440	33,03
						10,1				
383		16/10/2007		6/11/2007	21	9,99	9,995	78,46	27510	35,06
						10				
384		16/10/2007		6/11/2007	21	10,01	9,98	78,23	28550	36,49
						9,95				
385		16/10/2007		13/11/2007	28	10,08	10,05	78,85	29760	37,74
						10,02				
386		16/10/2007		13/11/2007	28	10,02	9,995	78,46	30130	38,40
						9,97				
387		16/10/2007		11/12/2007	56	10,02	10,015	78,78	26870	34,11
						10,01				
3	Prismático	16/10/2007								
4	Prismático	16/10/2007								

<b>LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL</b>	<b>Material n:</b> <b>Data de entrada:</b>
--	---

### FICHA DE ENSAIO

<b>Interessado:</b> André F. Foguesatto	<b>(Traço 1/6,5 c/ 25%) com aditivo 1,5%</b>
<b>Procedência do material:</b> Carlos Zamim	
<b>Data do recebimento:</b>	<b>Ensaiado por:</b>

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILINDRICO E/OU ARGAMASSA										
Identificação		Moldagem		Data do ensaio	Idade (dias)	Diâmetro (cm)		Área (cm <sup>2</sup> )	Resistência Ruptura	
Lab.	Obra	data	hora			Medido	Médio		Kgf	Mpa
556		12/11/2007		19/11/2007	7	9,98 10	9,99	78,38	29590	37,75
557		12/11/2007		19/11/2007	7	10 10	10	78,54	29310	37,32
558		12/11/2007		26/11/2007	14	10,01 10	10,01	78,62	27000	34,34
559		12/11/2007		26/11/2007	14	10,02 10,01	10,02	78,78	31230	39,64
560		12/11/2007		3/12/2007	21	10 10	10	78,54	29480	37,53
561		12/11/2007		3/12/2007	21	10 9,98	9,99	78,38	33110	42,24
562		12/11/2007		10/12/2007	28	10 10,02	10,01	78,70	31310	39,78
563		12/11/2007		10/12/2007	28	10 10	10	78,54	32610	41,52
564		12/11/2007		7/1/2008	56	10 10	10	78,54		
7	Prismático	12/11/2007								
8	Prismático	12/11/2007								

<b>LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL</b>	<b>Material n:</b> <b>Data de entrada:</b>
--	---

### FICHA DE ENSAIO

<b>Interessado:</b> André F. Foguesatto	<b>(Traço 1/6,5 c/ 50%) com aditivo 1,5%</b>
<b>Procedência do material:</b> Carlos Zamim	
<b>Data do recebimento:</b>	<b>Ensaiado por:</b>

### ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILINDRICO E/OU ARGAMASSA

Identificação		Moldagem		Data do ensaio	Idade (dias)	Diâmetro (cm)		Área (cm <sup>2</sup> )	Resistência Ruptura	
Lab.	Obra	data	hora			Medido	Médio		Kgf	Mpa
565		12/11/2007		19/11/2007	7	10	10	78,54	17110	21,78
						10				
566		12/11/2007		19/11/2007	7	10,01	10,005	78,62	20430	25,99
						10				
567		12/11/2007		26/11/2007	14	10	10	78,54	20860	26,56
						10				
568		12/11/2007		26/11/2007	14	10	9,99	78,38	21770	29,05
						9,98				
569		12/11/2007		3/12/2007	21	10	10,005	78,62	22600	28,75
						10,01				
570		12/11/2007		3/12/2007	21	10	10	78,54	19140	24,34
						10				
571		12/11/2007		10/12/2007	28	10	10,01	78,70	21620	27,47
						10,02				
572		12/11/2007		10/12/2007	28	10	10	78,54	22210	28,28
						10				
573		12/11/2007		7/1/2008	56	10	10	78,54		
						10				
9	Prismático	12/11/2007								
10	Prismático	12/11/2007								

<b>LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL</b>	Material n: Data de entrada:
--	---------------------------------

### FICHA DE ENSAIO

**Interessado:** André F. Foguesatto (Traço 1/6,5 c/ 75%) com aditivo 1,5%  
**Procedência do material:** Carlos Zamim  
**Data do recebimento:** Ensaiado por:

#### ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILINDRICO E/OU ARGAMASSA

Identificação		Moldagem		Data do ensaio	Idade (dias)	Diâmetro (cm)		Área (cm <sup>2</sup> )	Resistência Ruptura	
Lab.	Obra	data	hora			Medido	Médio		Kgf	Mpa
574		13/11/2007		20/11/2007	7	10,02 10,06	10,04	79,17	18790	23,73
575		13/11/2007		20/11/2007	7	10,12 10,09	10,11	80,20	18630	23,23
576		13/11/2007		27/11/2007	14	10,07 10,07	10,07	79,64	20350	25,55
577		13/11/2007		27/11/2007	14	10,11 10,01	10,06	79,49	20400	25,66
578		13/11/2007		4/12/2007	21	10,03 10,02	10,03	78,93	20430	25,88
579		13/11/2007		4/12/2007	21	10,02 10,02	10,02	78,85	20290	25,73
580		13/11/2007		11/12/2007	28	10 10,01	10,01	78,62	18280	23,25
581		13/11/2007		11/12/2007	28	10 9,99	9,995	78,46	21040	26,82
582		13/11/2007		8/1/2208	56	10,01 10,01	10,01	78,70		
11	Prismático	13/11/2007								



## **ANEXO 2**


Fichas de ensaios de esclereometria


LEITURA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1ª	27	30	29	26	26	28	26	26	29	31	26	28	28	29	27	33	33	29
2ª	35	22	29	26	24	24	33	29	24	28	28	24	25	27	30	29	30	30
3ª	30	29	25	28	24	29	28	27	25	29	24	38	25	29	27	25	25	27
4ª	26	29	28	28	28	28	28	31	31	24	31	29	25	29	35	27	31	27
5ª	28	31	30	27	29	29	25	25	24	22	27	29	29	29	29	29	36	26
6ª	28	22	30	29	27	28	29	37	30	27	28	29	27	25	27	29	28	28
7ª	27	28	28	28	29	29	24	33	35	27	27	29	33	24	29	33	26	27
8ª	25	27	28	24	27	26	23	30	26	27	22	33	29	28	33	30	29	25
9ª	26	25	27	25	25	27	22	25	28	26	25	33	28	25	22	36	26	25
10ª		26	28	28			29	24	28			28	29		29	28	25	31
11ª							26	31				31						
12ª																		
13ª																		
14ª																		
15ª																		
16ª																		
MÉDIA	28	26,9	28,2	26,9	26,6	27,6	26,6	28,9	28	26,8	26,4	30,1	27,8	27,2	28,8	29,9	28,9	27,5
ORIENTAÇÃO	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90
CORREÇÃO POSIÇÃO	2,34	2,38	2,34	2,38	2,38	2,36	2,38	2,34	2,34	2,38	2,38	2,3	2,36	2,36	2,34	2,32	2,34	2,36

LEITURA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1ª	31	27	29	28	33	32	18	22	21	19	29	20	21	20	19
2ª	33	29	27	32	33	36	22	22	20	23	25	20	27	20	21
3ª	36	27	31	31	34	32	20	21	21	22	22	22	21	16	21
4ª	30	28	28	30	29	34	24	20	23	22	25	25	21	21	20
5ª	32	32	32	36	35	32	22	23	26	21	31	25	21	26	20
6ª	32	32	30	32	31	34	19	22	24	23	23	24	25	20	22
7ª	28	32	37	34	30	32	22	25	20	25	24	21	21	21	24
8ª	29	30	29	31	33	32	24	18	22	20	22	23	20	29	23
9ª	22	34	36	33	30	37	20	22	21	24	18	24	21	23	32
10ª	27	29	30	32	30	32	22	16	20	25	21	26	23		18
11ª	28					31			20		21	20			
12ª									21		19				
13ª															
14ª															
15ª															
16ª															
MÉDIA	29,8	30	30,9	31,9	31,8	33,1	21,3	21,1	21,6	22,4	23,3	22,7	22,1	21,8	22
ORIENTAÇÃO	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-90
CORREÇÃO POSIÇÃO	2,32	2,3	2,3	2,27	2,27	2,21	2,48	2,48	2,48	2,46	2,44	2,46	2,46	2,48	2,46

### **ANEXO 3**

Fichas de ensaios granulométricos

		Código nº: _____ Material nº: _____						
LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL								
<b>ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS MIÚDOS</b>								
Material: <u>Areia de fundição (quilo)</u> Procedência: <u>Carlos Ferraz</u>								
<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA- NBR 7217</b>								
Peneiras nº	mm	1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada	
		Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida			
3/8"	9,5	0		0			0	
1/4"	6,3	0		0				0
4	4,8	0,35	0,035	0,23	0,030	0,025	0,025	
8	2,4	0,48	0,048	0,81	0,060	0,054	0,0815	
16	1,2	0,25	0,025	0,23	0,020	0,025	0,104	
30	0,6	11,13	1,11	24,28	1,69	1,395	1,489	
50	0,3	316,03	31,62	388,64	30,61	31,15	32,614	
100	0,15	634,88	63,48	770,23	60,66	62,095	94,709	
Fundo	<0,15	36,27	3,63	88,29	6,95	5,29		
TOTAL		999,30	100	1269,71	100	100		
Diâmetro Máximo:		0,6 mm		Módulo de Finura:		1,29		
<b>MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA - ASTM - C 128</b>								
A	Massa picnômetro vazio - g							
B	Massa picnômetro + areia seca - g							
C	Massa picnômetro + areia + água - g							
D	Massa picnômetro + água - g							
E	Massa areia seca (B - A) - g							
F	(D - A) - g							
G	(C - B) - g							
H	(F - G) - g							
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA E/H - g/cm³								
MÉDIA								
Massa específica- Chapman			Massa Unitária Solta - NBR 7251					
Leitura Final - cm³	Leitura Média - cm³	M.E.A. - g/cm³ 500/(L-200)	Peso Bruto Kg	Peso Líquido Médio - Kg	Massa Unitária Média - Kg/dm³			
397	397	2,538	28,19	28,23	1,410			
			28,22					
397			28,29					
			TARA:	VOLUME: 20 dm³				

		LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL				Código nº:	
						Material nº:	
<b>ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS MIÚDOS</b>							
Material:		<i>Areia Natural</i>		Procedência:		<i>baedex 20mm</i>	
<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA- NBR 7217</b>							
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada
nº	mm	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida		
3/8"	8,5	<i>04</i>	<i>0,28</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,14</i>	<i>0,14</i>
1/4"	6,3	<i>01</i>	<i>0,07</i>	<i>01</i>	<i>0,07</i>	<i>0,07</i>	<i>0,21</i>
4	4,8	<i>02</i>	<i>0,14</i>	<i>03</i>	<i>0,22</i>	<i>0,18</i>	<i>0,39</i>
8	2,4	<i>11</i>	<i>0,76</i>	<i>13</i>	<i>0,94</i>	<i>0,85</i>	<i>1,24</i>
16	1,2	<i>58</i>	<i>3,52</i>	<i>47</i>	<i>3,40</i>	<i>3,46</i>	<i>4,70</i>
30	0,6	<i>279</i>	<i>19,24</i>	<i>265</i>	<i>19,17</i>	<i>19,21</i>	<i>23,91</i>
50	0,3	<i>787</i>	<i>54,27</i>	<i>748</i>	<i>54,20</i>	<i>54,23</i>	<i>78,14</i>
100	0,15	<i>215</i>	<i>14,83</i>	<i>211</i>	<i>15,27</i>	<i>15,05</i>	<i>93,19</i>
Fundo	<0,15	<i>100</i>	<i>6,89</i>	<i>93</i>	<i>6,73</i>	<i>6,81</i>	
TOTAL		<i>1450</i>	<i>100</i>	<i>1382</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Diâmetro Máximo:		<i>&gt; 5% ACUMULADA = 1,2 mm</i>				Módulo de Finura: <i>2,0171</i>	
<b>MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA - ASTM - C 129</b>							
A	Massa picnômetro vazio - g						
B	Massa picnômetro + areia seca - g						
C	Massa picnômetro + areia + água - g						
D	Massa picnômetro + água - g						
E	Massa areia seca (B - A) - g						
F	(D - A) - g						
G	(C - B) - g						
H	(F - G) - g						
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA E/H - g/cm³							
<b>MÉDIA</b>							
<b>Massa específica- Chapman</b>				<b>Massa Unitária Solta - NBR 7251</b>			
Leitura Final - cm³	Leitura Média - cm³	M.E.A. - g/cm³ 500/(L-200)	Peso Bruto Kg <i>(Liquido)</i>	Peso Líquido Médio - Kg	Massa Unitária Média - Kg/dm³		
<i>392</i>	<i>396,5</i>	<i>2,597</i>	<i>31,72</i>	<i>31,99</i>	<i>1,60</i>		
			<i>31,93</i>				
			<i>32,23</i>				
<i>393</i>			TARA:	VOLUME:	<i>20 dm³</i>		

	LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL	Material nº:
---	---------------------------------------	--------------

### ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS GRAÚDOS

Material: BREJA - Procedência: CARLOS ZAMEN

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA- MBR 7217									
Penetas	mm	1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada		
		Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida				
3"	76	0	0	0	0				
2 1/2"	64	0	0	0	0				
2"	50	0	0	0	0				
1 1/2"	38	0	0	0	0				
1 1/4"	32	0	0	0	0				
1"	25	0	0	0	0				
3/4"	19	0	0	0	0				
1/2"	12,5	3114	62,85	3048	64,86	63,855		63,855	
3/8"	9,5	1713	31,56	1727	30,71	31,135	91,95		
1/4"	6,3	852	4,64	194	3,45	4,045		99,035	
4	4,8	15	0,28	14	0,25	0,265	99,3		
8	2,4	10	0,18	09	0,16	0,17	99,47		
16	1,2	01	0,02	01	0,0175	0,020	99,49		
30	0,6	01	0,02	01	0,0175	0,020	99,51		
50	0,3	02	0,04	02	0,035	0,0375	99,5475		
100	0,15	02	0,04	02	0,035	0,0375	99,585		
Fundo	<0,15	20	0,37	20	0,405	0,42			
TOTAL		5427	100	5624	100				

Diâmetro Máximo:  $> 5\% \text{ ACUMULADA} = 6,3 \text{ mm}$  Módulo de Finura: 6,92

MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA - ASTM - C 127												
A	Massa seca Est Bruta	B	Massa seca Est Líquida	C	Massa Imersa Bruta	D	Massa Imersa Líquida	E	Massa SSS Líquida	F	Volume dm3 E - D	M-E-A dm3 B/F
Cesto ao ar:				Cesto imerso:				Média:				

ABSORÇÃO ASTM-C 127			Massa Unitária Solta - NBR 7251		
G	Absorção E - B	Absorção % (G/B) x 100	Peso Bruto Kg	Peso Líquido Médio - Kg	Massa Unitária Média - Kg/dm3
			31,74	31,49	1,574
			31,54		
			31,18		
MÉDIA			TARA:	VOLUME:	

