

# Specific mass and water absorption from concrete manufactured with alternate aggregates

## *Massa específica e absorção de água de concretos manufaturados com agregados alternativos*

E. C. ARAUJO <sup>a</sup>  
edsonjt@terra.com.br

F. M. DIAS <sup>b</sup>  
fmdias2@hotmail.com

### Abstract

Concrete is the second most used material on the planet. Due to strong growth in emerging economies, there is an expectation of greater consumption of material in the coming years. Due to this growth, we can observe that the environment is being greatly damaged by the generation of waste. There are several sectors that generate these wastes, among them stands out the steel, the water treatment and the extraction of gravel as raw material for concrete producers. Therefore, this paper presents a study on the use of alternative solid waste as aggregates for the manufacture of concrete. The residues used are: sludge Water Treatment Station (WTS), Manufactured Sand and Steel Slag. For both concrete mixtures were used to replace all or part of the fractions of coarse aggregate (crushed) and fine aggregate (sand). This substitution was made in mass. To benchmark adopted a trait that is standard with the use of 100% of the constituents of concrete by concrete adopted in the region. The admixture corresponds to a standard adopted characteristic compression strength of 25 MPa and a water/cement ratio of 0,61. The concrete were analyzed for physical properties according to ABNT normas. The results of concrete tests made with artificial sand and steel slag show as efficient material for structural applications. However, the concrete with the addition of WTS can be used for non-structural, such as filling element in projects that require low resistance to compression. These data were statistically analyzed by ANOVA and the results indicate that with judicious use, waste studied here, may be alternative to the traditional use of aggregates for concrete manufacture.

**Keywords:** concrete, sludge from water treatment plant, artificial sand, steel slag, aggregates.

### Resumo

O concreto é o segundo material mais utilizado no planeta. Devido ao crescimento acentuado das economias emergentes, existe uma expectativa de consumo deste material ainda maior nos próximos anos. Em função deste crescimento, pode-se observar que o meio ambiente está sendo extremamente prejudicado com a geração de resíduos. Vários são os setores que geram estes resíduos, dentre estes, destacam-se os siderúrgicos, os de tratamento de água e o de extração de brita para matéria prima para as concreteiras. Sendo assim, este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização de resíduos sólidos como agregados alternativos para a manufatura de concreto. Os resíduos utilizados são: Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA), Areia Artificial e Escória de Aciaria. Para tanto foram adotados traços de concreto com substituição total ou parcial das frações de agregados graúdos (brita) e miúdo (areia). Esta substituição foi feita em massa. Para parâmetro de comparação adotou-se um traço padrão com a utilização de 100% dos constituintes do concreto adotados pelas concreteiras da região. O traço padrão adotado corresponde a uma resistência característica a compressão de 25 MPa e uma relação água/cimento de 0,61. Os concretos foram caracterizados quanto às propriedades físicas segundo as normas da ABNT. Os resultados dos ensaios de concretos com os resíduos de areia artificial e escória de aciaria apresentaram-se como eficientes para aplicações estruturais. Porém, os concretos com adição de LETA podem ser utilizados para fins não estruturais, tal como, elemento de enchimento em projetos que exijam baixa resistência à compressão. Estes dados foram tratados estatisticamente, por meio da análise de variância ANOVA e os resultados indicam que, com a utilização criteriosa, os resíduos aqui estudados, podem ser alternativos à utilização dos agregados tradicionais para manufatura de concretos.

**Palavras-chave:** concreto, lodo de estação de tratamento de água, escoria de aciaria, areia artificial, agregados.

<sup>a</sup> Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste MG, Mestrado em Engenharia Industrial, edsonjt@terra.com.br, Av. Minas Gerais, 175, Bairro Canaã, CEP 35164-192, Ipatinga, MG.

<sup>b</sup> Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste MG, Mestrado em Engenharia Industrial, fmdias2@hotmail.com, Av. Tancredo Neves, 3500, Bairro Universitário, CEP 35170-056, Coronel Fabriciano, MG.

## 1. Introdução

Grande parte do que se produz e respectivamente é consumido ainda nos dias de hoje são extraídos da natureza, desde matéria prima para as indústrias de vestuários, de metalurgia, de bens e consumos, da construção civil e demais indústrias dos mais diversos setores.

Dentre os setores geradores de resíduos tem-se a indústria metalúrgica que gera uma quantidade significativa de resíduos, com as mais variadas características, em todas as etapas de seu processo. Alguns destes resíduos, conhecidos como resíduos de aciaria, apresentam as mais diversas características granulométricas, desde resíduos pulverulentos até resíduos de maiores granulometrias, com forma de partículas.

Outro setor, a Estação de Tratamento de Água, gera um resíduo classificado como lodo que após seco assume uma aparência de material argiloso.

Já as concreteiras utilizam como matéria prima básica areias, extraídas de rios e córregos; britas oriundas de explosões de rochas, entre outros insumos constituintes dos concretos, como cimento, que também são oriundos de recursos naturais. Na extração de britas são gerados pós de pedra com granulometrias variadas.

Os resíduos sólidos, dos setores mencionados são gerados em grandes quantidades como apresentado a seguir:

**Areia Artificial:** a quantidade de material gerado pode chegar até 20% do material britado, Prudêncio; Coelho; Gutstein, [1].

**Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA):** segundo Hoppen [2], uma ETA convencional com capacidade de tratar 2.400 l/s produz cerca de 1,8 t/dia de lodo. Vale salientar que, no Brasil, a quantidade de lodo produzido em estações de tratamento de água não é comumente mensurada devido ao não-gerenciamento dos resíduos produzidos.

**Escória de Aciaria:** no Brasil, de acordo com o Instituto Aço Brasil-IAB [3] a produção de aço em 2008 chegou a 33,7 milhões de toneladas, sendo que, em média se produz 120 kg de escória de aciaria por tonelada de aço bruto, foi gerado um total de 4 milhões de toneladas de escórias, o que torna este produto um dos resíduos de maior volume, entre os gerados na siderurgia.

Pesquisas têm sido estimuladas para a utilização de resíduos como subprodutos para os mais diversos setores industriais. Este estímulo se deve principalmente para diminuir o impacto ambiental causado com a retirada de recursos naturais não renováveis da natureza.

Sendo assim, este trabalho apresenta a caracterização física de concretos manufaturados com agregados alternativos: Lodo de Estação de Tratamento de Água, Escória de Aciaria e Areia Artificial com relação aos ensaios de absorção de água e massa específica, comparando-os com valores de referência obtidos utilizando agregados de uso normal como areia quartzosa e brita de gnaise para concreto com resistência característica de 25 MPa.

### 1.1 Concreto

Na indústria da construção civil, o material mais utilizado é o concreto, produto que usa em sua composição recursos naturais, tais como, areia e brita, Isaia [4]. Pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de minimização da retirada destes recursos da natureza. Sendo assim verifica-se que existe uma grande necessidade para promover o tratamento destes resíduos, agregando valor aos mesmos, de modo que eles sejam transformados em matérias primas para a produção de concreto.

### 1.2 Agregados

Segundo Isaia [4], agregados são os materiais que ocupam a ordem de 70% a 80% do volume em concretos convencionais, sendo assim, deverão ser escolhidos com toda atenção e critério técnico disponível, pois são os elementos em maior quantidade no concreto.

## 2. Materiais e programa experimental

A metodologia foi desenvolvida em 03 etapas, conforme descrição a seguir.

Figura 1 - Estação de Tratamento de Água de Santana do Paraíso-MG



Figura 2 – Planta de britagem da Pedreira Um Valemix, localizada na cidade de Timóteo-MG



Figura 3 – Resíduo Escória de Aciaria, depositado no pátio da empresa Reciclos em Timóteo-MG



### 2.1 Etapa 01: Seleção de Materiais

Foram utilizados 03 tipos de resíduos oriundos da região do Vale do Aço, além de insumos normalmente utilizados e comercializados na região. Os resíduos são: Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA), Areia Artificial e Escória de Aciaria.

Foi utilizado o cimento Portland CP III E 40 – Cauê/Camargo Correa. A opção de uso deu-se em função da utilização em larga escala do produto na construção civil local.

A areia natural utilizada é de origem quartzosa, oriunda do rio Doce. Foram recolhidos 0,5 m<sup>3</sup> do material no pátio de estocagem do areal Rio Doce, localizado na rua A, nº 465, Parque do Rio Doce, Caratinga, MG. A areia passou por processo de secagem natural sendo em seguida armazenada em ambiente de laboratório.

A brita utilizada no decorrer da pesquisa é de origem metamórfica e britada a partir da rocha gnaisse. O material teve sua procedência na Pedreira Um Valemix localizada na cidade de Timóteo, MG. O material utilizado na pesquisa foi recolhido no pátio de es-

Tabela 1 – Traços para o Concreto em massa propostos para substituição dos agregados

Faixa em massa - 25 MPa - Relação a/c 0,61									
Discrim.	Traços	Aglom. Cimento (Kg)	Agregado Miúdo (Kg)			Agregado Graúdo (Kg)		Água (l)	Peso (Kg)
	Ref.		Areia Artificial	Areia Natural	LETA	Gnaisse	Escória		
Mix 1	standard	6		12,7			15,37	3,7	34,07
Mix 2	LERE1	6	8,8	3,77	0,13		15,37	3,7	34,07
Mix 3	LERE2	6	8,45	3,62	0,64		15,37	3,7	34,07
Mix 4	LERE3	6	8	3,43	1,27		15,37	3,7	34,07
Mix 5	LERE4	6	8,89	3,77	0,13	7,69	7,69	3,7	34,07
Mix 6	LERE5	6	8,45	3,62	0,64	7,69	7,69	3,7	34,07
Mix 7	LERE6	6	8	3,43	1,27	7,69	7,69	3,7	34,07
Mix 8	LERE7	6	8,8	3,77	0,13		15,37	3,7	34,07
Mix 9	LERE8	6	8,45	3,62	0,64		15,37	3,7	34,07
Mix 10	LERE9	6	8	3,43	1,27		15,37	3,7	34,07
Soma		60	50,94	34,49	6,1	84,535	69,165		305,23

tocagem da planta de britagem, numa quantidade de 0,5 m<sup>3</sup>. Todo material passou por processo de secagem natural e logo após devidamente armazenado em ambiente de laboratório.

Resíduos utilizados como agregados alternativos:

O agregado produzido com o LETA tem sua origem em etapas do processo de purificação da água, envolvendo reações químicas associadas ao transporte de matéria orgânica nos tanques de decantação e deposição das estações de tratamento de água. O material utilizado na pesquisa teve sua procedência na Estação de Tratamento de Água (ETA) que abastece a cidade de Santana do Paraíso, MG, conforme mostra a Figura [1].

Foram recolhidos 1200 litros de LETA, sendo este material secado por meio de estufa, por 72 horas a 100°C e posteriormente armazenado em recipientes plásticos no laboratório.

O agregado areia artificial é um resíduo de origem metamórfica obtido do processamento da rocha gnaisse. Tem sua procedência na planta de britagem da Pedreira Um Valemix, localizada na cidade de Timóteo-MG, como mostra a Figura [2].

A justificativa de uso deste material deu-se em função de suas características físicas e granulométricas, mas, sobretudo pelo fato de auxiliar na redução de impactos ambientais. Foi submetido a processos de secagem natural e, logo após, devidamente armazenado em ambiente de laboratório.

O resíduo denominado escória de aciaria, foi obtido após beneficiamento pela empresa Reciclos, localizada na cidade de Timóteo, MG. O material encontrava-se no pátio de estocagem da empresa, após ter sido transportado do pátio de resíduo da empresa ArcelorMittal onde permaneceu por 05 anos após estabilização reativa. Figura [3].

A quantidade recolhida foi de 2 m<sup>3</sup> do material que já estava seco naturalmente.

## 2.2 Etapa 02: Dosagem dos materiais e preparo dos corpos de prova

Foram elaborados 10 traços como são apresentados na tabela [1]. Os procedimentos de elaboração do traço de concreto seguiram as proporções descritas no relatório do comitê ACI 211 [5].

Adotou-se o método de dosagem em massa, justificado pela acessibilidade de informações e aplicações mais facilitadas no laboratório. O ajuste nas misturas apresentadas a seguir obedeceram recomendações de Mehta e Monteiro [6]. Esta etapa ocorreu de forma que o controle da trabalhabilidade fosse assegurada para condições nas quais o concreto atendesse o padrão determinado. Foi adotado o procedimento de dosagem racional a partir de um traço padrão "concreto convencional" 1 : 2,72 : 3,19 : 0,61 e Resistência Característica a Compressão (Fck) de 25 MPa. Para realização do controle da trabalhabilidade, foi adotado o valor de 100 ± 20 mm para o ensaio de abatimento de tronco "Slump Test" conforme ABNT NBR NM 67 [7].

A utilização da adição do LETA obedeceu a um padrão de proporcionamento nas 03 etapas de elaboração teórica do traço. As etapas 02 (traço 5, 6 e 7) e 03 (traço 8, 9 e 10) apresentam alteração no proporcionamento do agregado graúdo sendo este caracterizado pela substituição de 50% do gnaisse por 50% de escória e 100% de escória na etapa 02.

Segundo Souza [8] a adição de LETA em substituição ao agregado miúdo em até 4%, apresenta características similares à dos concretos convencionais, diante desta afirmativa, apresentamos uma

variação de substituição da areia pelo LETA em 1%, 5% e 10%. As propostas de substituição da areia natural pela artificial em 70% foi baseada em experimentos da Pedreira Um Valemix e segundo Sabino [9], é indicada na fabricação de concretos.

De acordo com Neville [10] a proporção ótima para substituição do agregado graúdo por escória é de 50% sem perda de resistência à compressão.

Utilizou-se uma betoneira de eixo inclinado com capacidade para 145 l fabricante CSM onde fez-se imprimação prévia com argamassa do traço trabalhado. Com o equipamento em movimento o material foi colocado na seguinte ordem:

- 100% agregado graúdo mais 20% da água,
- 100% cimento mais 30% da água,
- 100% agregado miúdo mais 50% da água.

Após colocação de todo material, o mesmo permaneceu por aproximadamente 05 minutos em processo de mistura e homogeneização. Em seguida ocorreu o teste de abatimento de tronco de cone "Slump Test" para verificação do valor projetado.

Os processos de moldagem e cura seguiram em conformidade com a NBR 5738 [11], sendo os ensaios dos corpos de prova executados nas idades de 03, 07 e 28 dias. Em função da quantidade de LETA fornecido para utilizar nos traços experimentais, adotou-se o limite mínimo, para produção de 10 corpos de prova por traço. Na execução da moldagem, adotou-se o uso de corpos cilíndricos com dimensões 10 cm x 20 cm, onde fez-se o adensamento manual. Após procedimentos de moldagem, os corpos-de-prova foram mantidos em ambiente de laboratório por aproximadamente 24 horas, sendo então, desformados e levados à câmara úmida, sob condições de umidade relativa superior a 95% e temperatura de 23°C ± 2°C.

## 2.3 Etapa 03: Ensaios para determinação da massa específica e absorção de água dos concretos

Foram realizados ensaios segundo documentos normativos da ABNT. Os ensaios são:

### • Determinação da massa específica

O procedimento de obtenção da massa específica do concreto pesquisado foi baseado no proporcionamento de materiais determinado pelos traços sendo seguidos os seguintes passos de acordo com a NBR 9833 [12].

- a) Tarou-se um recipiente de volume conhecido;
- b) Foi feito o enchimento do recipiente com a amostra de concreto correspondente utilizando adensamento manual com haste de socamento aplicando golpes uniformes em 03 camadas de 30 golpes por camada, em seguida efetuou-se o rasamento da superfície;
- c) O recipiente cheio de concreto foi submetido a nova pesagem;
- d) A massa específica foi calculada utilizando a equação 1.

$$\mu = m/V$$

(1)

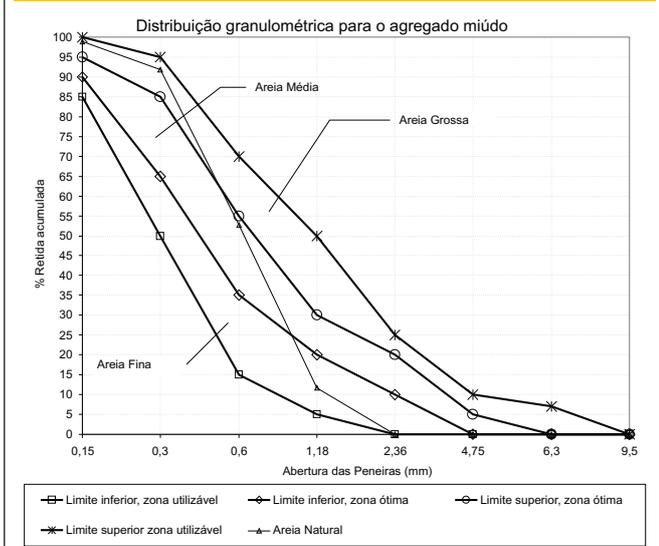
onde:  $\mu$  é a massa específica;  
m é a massa em kg do concreto;  
V é o volume do recipiente.

**Tabela 2 - Caracterização Granulométrica e Física da Areia Natural**

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem		
		Retida	Acumulada	
9,5				
6,3				
4,75		%	%	
2,36		%	%	
1,18	58,9	11,78	%	11,78
0,6	204,9	40,98	%	52,76
0,3	195,1	39,02	%	91,78
0,15	35,5	7,1	%	98,88
FUNDO	5,6	1,12	%	100
TOTAL	500	100	%	

Descrição	Resultados
Massa Unitária (NBR 52)	1,444 Kg/dm <sup>3</sup>
Massa Específica (NBR 52)	2,618 Kg/dm <sup>3</sup>
Materiais Pulverulentos (NBR NM 46)	0,22%
Módulo de Finura (NBR 7211)	2,552
Diâmetro Máximo (NBR 7211)	2,4mm
Coefficiente de Vazios	44,84%

**Figura 4 - Distribuição granulométrica para a Areia Natural**



**• Determinação da absorção de água**

A determinação da absorção de água seguiu as orientações da NBR 9778 [13], onde as amostras do concreto moldados em formas cilíndricas Ø 10 cm X 20 cm, foram secados em estufa por 24 horas e após resfriados foram devidamente pesados e anotadas as suas massas secas. Em seguida, as amostras foram submetidas a imersão completa por um período de 24 horas, sendo a superfície dos CP's levemente enxugadas com um pano seco e novamente pesadas, obtendo assim os valores de massa úmida das séries ensaiadas. Os cálculos matemáticos para obtenção dos resultados foram feitos por meio da equação 2.

$$\%_{\text{umidade}} = (m_{\text{úmida}} - m_{\text{seca}}) / m_{\text{seca}} \times 100 \tag{2}$$

**• Determinação da resistência a compressão axial**

A resistência a compressão axial dos concretos em estudo foi determinada seguindo o método descrito pela NBR 5739 [14].

**3. Resultados e discussões**

Na tabela [2] é apresentada a caracterização granulométrica e física da Areia Natural. Observa-se que a areia é classificada como média, segundo a NBR 7211 [15], com módulo de finura

Tabela 3 - Caracterização Granulométrica e Física da Areia Artificial

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem			
		Retida		Acumulada	
9,5					
6,3					
4,75			%		%
2,36	48,3	8,71	%	8,71	%
1,18	83,2	15	%	23,72	%
0,6	109,5	19,75	%	43,46	%
0,3	112,9	20,36	%	63,82	%
0,15	117,3	21,15	%	84,98	%
FUND	83,3	15,02	%	100	%
TOTAL	554,5	100	%		

Descrição		Resultados
Massa Unitária	(NBR 52)	1,444 Kg/dm <sup>3</sup>
Massa Específica	(NBR 52)	2,674 Kg/dm <sup>3</sup>
Materiais Pulverulentos	(NBR NM 46)	0,22%
Módulo de Finura	(NBR 7211)	2,247
Diâmetro Máximo	(NBR 7211)	4,75mm
Coefficiente de Vazios		46%

MF=2,552 e diâmetro máximo  $d_m=2,40$  mm, estando nos limites de zona ótima (2,20 a 2,90). Observa-se na figura [4] que a porcentagem retida acumulada ultrapassou o limite superior nas peneiras 0,15 e 0,3 mm e ficou abaixo do limite inferior para a peneira 1,18 mm. A areia natural apresenta módulo de finura MF=2,552. Vale ressaltar que esta areia é utilizada na região do Vale do Aço como areia média.

Na tabela [3] é apresentada a caracterização granulométrica e física da Areia Artificial. De acordo com a NBR 7211 [15] a areia artificial é classificada como areia média, apresentando  $d_m=4,75$  mm e MF=2,247, estando nos limites de zona ótima (2,20 a 2,90). Ao observar a figura [5] nota-se que, a porcentagem retida nas peneiras 0,15, 0,3 e 2,36 mm não se enquadram na faixa estabelecida para areia média, segundo a NBR 7211 [15]. Porém, a quantidade significativa percentual de material retido nestas peneiras estimulou a utilização de todo material em toda faixa granulométrica.

Na tabela [4] é apresentada a caracterização granulométrica e física da Brita. Pode-se observar os valores do  $d_m=12,5$  mm e MF=5,545 determinados de acordo com a NBR 7211 [15]. Na curva característica da Brita que é demonstrada na figura [6], a porcentagem nas peneiras 2,36 a 6,3 mm não se enquadram na faixa estabelecida conforme a NBR 7211 [15], mas foi indicada como Brita 0 (zero) por ter uso consagrado na região.

Na tabela [5] é apresentada a caracterização granulométrica e física da Escória. De acordo com a NBR 7211 [15], verificamos o  $d_m=19$  mm e o MF=6,742. A distribuição granulométrica da Es-

Figura 5 - Distribuição granulométrica para a Areia Artificial

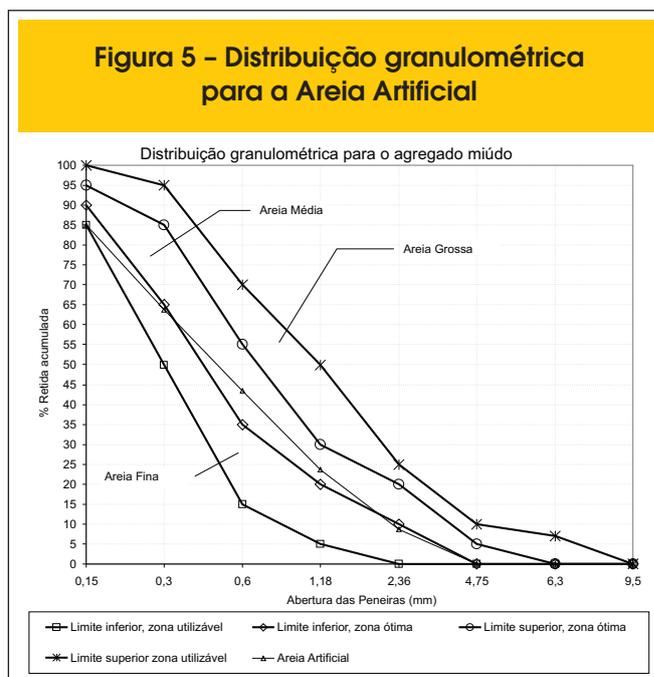


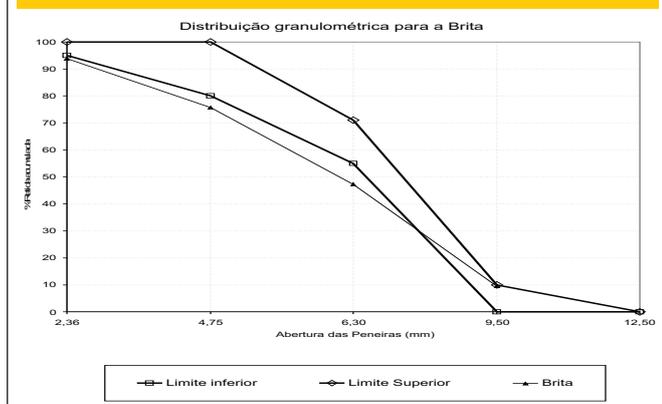
Tabela 4 - Caracterização Granulométrica e Física da Brita

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem			
		Retida		Acumulada	
19			%		%
12,5			%		%
9,5	110,66	9,5	%	9,5	%
6,3	436,57	37,7	%	47,2	%
4,75	329,5	28,43	%	75,64	%
2,36	211,2	18,22	%	93,86	%
FUND	71,2	6,14	%	100	%
TOTAL	1159,21	100	%		
Descrição		Resultados			
Massa Unitária		(NBR 52)	1,444 Kg/dm <sup>3</sup>		
Massa Específica		(NBR 52)	2,632 Kg/dm <sup>3</sup>		
Materiais Pulverulentos		(NBR NM 46)	0,42%		
Módulo de Finura		(NBR 7211)	5,545		
Diâmetro Máximo		(NBR 7211)	12,5mm		
Coeficiente de Vazios			45,12%		

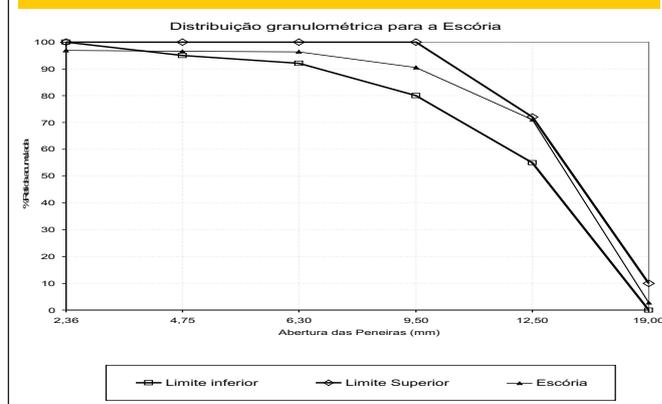
Tabela 5 - Caracterização Granulométrica e Física da Escória

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem			
		Retida		Acumulada	
19	68	2,8	%	2,8	%
12,5	1643	68,3	%	71,1	%
9,5	469	19,5	%	90,6	%
6,3	140	5,8	%	96,4	%
4,75	3	0,12	%	96,55	%
2,36	7	0,29	%	96,84	%
FUND	76	3,16	%	100	%
TOTAL	2406	100	%		
Descrição		Resultados			
Massa Unitária		(NBR 52)	1,41 Kg/dm <sup>3</sup>		
Massa Específica		(NBR 52)	2,632 Kg/dm <sup>3</sup>		
Materiais Pulverulentos		(NBR NM 46)	0,82%		
Módulo de Finura		(NBR 7211)	6,742		
Diâmetro Máximo		(NBR 7211)	19mm		
Coeficiente de Vazios			46,43%		

**Figura 6 - Distribuição granulométrica para a Brita**



**Figura 7 - Distribuição granulométrica para a Escória**



**Tabela 6 - Valores de massa específica dos concretos no estado fresco**

Discriminação	Referência	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
Traço 1	Padrão	2230,37
Traço 2	LERE1	2178,12
Traço 3	LERE2	2213,69
Traço 4	LERE3	2168,9
Traço 5	LERE4	2213,41
Traço 6	LERE5	2069,53
Traço 7	LERE6	2081,22
Traço 8	LERE7	2246,84
Traço 9	LERE8	2235,01
Traço 10	LERE9	2234,65

cória é plotada na figura [7], a porcentagem retidas nas peneiras enquadram este resíduo como Brita 1, segundo a NBR 7211 [15]. O LETA apresentou características pulverulentas após o benefi-

ciamento em moinho de martelos não sendo possível traçar uma curva granulométrica.

Apresentou também características similares a argila em função da cor, textura e granulometria.

Na tabela [6] são apresentados os valores de propriedades físicas (massa específica) para o concreto no estado fresco.

A massa específica é intrínseca à porosidade do material, NEVILLE [10]. Os valores da massa específica para os traços 2, 3 e 4 (adição de LETA) apresentaram uma diminuição em relação ao traço padrão, em função da dificuldade de homogeneização deste produto com características pulverulentas. À medida que foi adicionada a escória, traço 5, teve-se um aumento da massa específica. Os traços 6 e 7, apresentaram uma diminuição na massa específica, em função da composição com o LETA e a Escória. Os traços 8, 9 e 10 apresentaram os maiores valores, já esperados em função do peso específico da escória.

Na tabela [7] são apresentados os resultados para a Análise de Variância (ANOVA) para a variável de resposta Massa Específica, em função do traço utilizado

Ao analisar a influência dos traços na massa específica, o P-valor foi menor que 0,05, tendo um ajuste de  $R^2 = 82,16\%$ . O valor P apresenta valor menor que  $\alpha$  de 0,05, sendo assim, os resultados de massa específica são significativamente diferentes, nos diversos traços avaliados.

Na tabela [8] são apresentados os valores de Absorção de Água para os concretos. A monitoração da absorção de água determina

**Tabela 7 - Análise de Variância para Massa Específica**

Fatores	GL	SQS	MQA	F	P
Referência	9	218825	24314	29,66	0,000
Erro	47	38531	820		
Total	56	257356			
<b>S = 28,63</b>		<b>R<sup>2</sup> = 85,03%</b>		<b>R<sup>2</sup> (ajust) = 82,16%</b>	

**Tabela 8 - Tabela de absorção de água dos concretos**

Discriminação	Referência	Absorção (%)
Traço 1	Padrão	2,61
Traço 2	LERE1	2,57
Traço 3	LERE2	3,24
Traço 4	LERE3	3,92
Traço 5	LERE4	4,06
Traço 6	LERE5	4,75
Traço 7	LERE6	4,67
Traço 8	LERE7	4,23
Traço 9	LERE8	3,89
Traço 10	LERE9	5,05

o total dos poros permeáveis na estrutura, o conhecimento desta estrutura de poros permite prever a durabilidade de um concreto, WIRQUIN [16].

Foi possível observar que dentro das sequências de dosagens 1%, 5% e 10% para o LETA, o comportamento de absorção seguiu um padrão de crescimento nas composições que utilizaram somente um agregado graúdo. O agregado escória de aciaria apresentou resultados de maiores valores em relação à composição na qual utilizou-se o agregado natural rocha gnaisse "Brita 0". Nesta sequência, o traço LERE5 com substituição de 5% LETA apresentou resultado com maiores valores de absorção em relação aos traços do grupo comparativo e também das demais composições, exceto para o traço 10.

Na tabela [9] são apresentados os resultados para a Análise de Variância (ANOVA) para a variável resposta absorção de água.

A Absorção apresentou valor significativo, pois tem o P-valor menor que 0,05, tendo um ajuste de  $R^2 = 71,90\%$ , validando a análise. Os diversos traços influenciam diretamente na diferença dos resultados.

Na tabela [10] são apresentados os valores de resistência à compressão axial simples, para todos os traços, dos concretos aos 28 dias. No estudo desta propriedade, constatou-se que de um

modo geral, os valores obtidos apresentam valores diretamente proporcionais às idades dentro do mesmo padrão de substituição. À medida que ocorre o aumento da substituição do LETA, a resistência a compressão se dá de forma decrescente quando a proporção passa de 1% para 5%, diminuindo ainda mais com as composições de 5% e 10% .

Nos casos onde as composições foram totalmente dosadas com agregado graúdo em substituição de 100% por escória de aciaria, o aumento da resistência foi constatado.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos para os concretos manufaturados com os resíduos: lodo de estação de tratamento de água, areia artificial e escória de aciaria permitem concluir:

Os valores da massa específica dos concretos comparados com o traço padrão são: para os traços 2, 3 e 4, com adição de LETA, apresentaram uma diminuição. À medida que se adicionou a escória, traço 5, houve um aumento na massa específica. Os traços 6 e 7 apresentaram uma diminuição de massa específica, em função da composição com o LETA e a Escória. Já os traços 8, 9 e 10 apresentaram os maiores valores, sendo que a escória é um agregado de maior densidade.

Para a absorção de água dos concretos manufaturados com resíduos, apenas o traço 2 apresentou menor valor. Observou-se que aumentando a porcentagem de LETA aumentou-se a capacidade de absorção de água. Os concretos com a adição de escória de aciaria como agregado apresentou maiores valores de absorção de água em relação à composição na qual foi utilizado o agregado natural rocha gnaisse "Brita 0". O traço 5 com substituição de 5% LETA apresentou maiores valores de absorção de água em relação a todos os outros traços, exceto ao traço 10.

Para a resistência à compressão foi observado que os concretos com maiores frações de LETA apresentaram valores inferiores em relação ao concreto adotado como padrão. Esta resistência a compressão se dá de forma decrescente quando a proporção passa de 1% para 5%, diminuindo ainda mais com as composições de 5% e 10% de LETA.

Para os traços que apresentam em sua composição a substituição do agregado graúdo (brita) em 100% por escória de aciaria, houve uma aumento da resistência.

#### 5. Agradecimentos

Ao Sr. Roberto da empresa RECICLOS, colegas da COPASA e

**Tabela 9 - Análise de Variância para Absorção de Água**

Fatores	GL	SQS	MQA	F	P
Referência	9	0,0038306	0,0004256	16,92	0,000
Erro	47	0,0011821	0,0000252		
Total	56	0,0050127			
<b>S = 0,005015</b>		<b>R<sup>2</sup> = 76,42%</b>		<b>R<sup>2</sup> (ajust) = 71,90</b>	

**Tabela 10 – Tabela de resistência à compressão axial para os concretos aos 28 dias**

Discriminação	Referência	Tensão de Ruptura (MPa)
Traço 1	Padrão	25,06
Traço 2	LERE1	20,43
Traço 3	LERE2	18,54
Traço 4	LERE3	17,90
Traço 5	LERE4	22,13
Traço 6	LERE5	21,60
Traço 7	LERE6	17,97
Traço 8	LERE7	26,34
Traço 9	LERE8	24,55
Traço 10	LERE9	21,52

VALEMIX pela disponibilidade de recursos materiais para elaboração da pesquisa.

Ao companheiro Thiago, pela disponibilidade na elaboração e confecção dos traços e análises dos resultados, ao Sr Luiz Eugênio, pela paciência e pela disponibilidade do laboratório de sua empresa (Solução Engenharia).

## 6. Referências bibliográficas

- [01] PRUDÊNCIO JR, L.R.; COELHO, A.H.; GUTSTEIN, D. Metodologia para obtenção de agregado miúdo artificial a partir de processamento do pó-de-pedra. In: ENTAC 95, 1995, Rio de Janeiro.
- [02] HOPPEN, C. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. *Cerâmica*, Jun 2005, vol.51, no.318, p.85-95. ISSN 0366-6913
- [03] Instituto Aço Brasil. <[http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/Folder\\_Institucional\\_AcoBrasil.pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/Folder_Institucional_AcoBrasil.pdf)>, acesso 23/01/2009.
- [04] ISAIA, G. C. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. Volumes 1 e 2. São Paulo, IBRACON, 2008.
- [05] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE . ACI Standard 211.1, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005.
- [06] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo, IBRACON, 2008.
- [07] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67 – determinação de consistência pelo Abatimento do tronco de cone - Especificação brasileira. Rio de Janeiro. 1998.
- [08] SOUZA, FRANCIS RODRIGUES DE. Estudo da eco-eficiência de argamassas e concretos reciclados com resíduos de estações de tratamento de água e de construções e demolições. Dissertação de Mestrado- São Carlos: UFSCar, 2006.
- [09] SABINO, E.S. Utilização de pó de pedra como areia artificial. TCC – Engenharia de Materiais, UnilesteMG-2008.
- [10] NEVILLE, A.M. *Properties of concrete*. Harlow: Longman, 1995.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – Especificação brasileira. Rio de Janeiro. 2003.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9833 - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico – Especificação brasileira. Rio de Janeiro. 2008.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – Especificação brasileira. Rio de Janeiro. 2005.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2007.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação brasileira. Rio de Janeiro. 2005.
- [16] WIRQUIN, E. Utilisation de l'absorption d'eau des bétons comme critères de leur durabilité: application aux bétons de granulats recycles. *Materials and structures*, 2000.