

## ANÁLISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO COM AREIA DE FUNDIÇÃO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL A AREIA NATURAL

Jenifer Luana Gasparetto (1)  
Adairton Petri Junior (1)  
Joelcio Luiz Stocco (2)  
Helena Ravache Samy Pereira (3)

(1)Graduando(a) em Engenharia Civil, Centro Universitário de Santa Catarina  
(2)Professor Mestre, Centro Universitário Católica de Santa Catarina e UNISUL  
(3)Professora Doutora, Centro Universitário Católica de Santa Catarina  
[helena.pereira@catolicasc.org.br](mailto:helena.pereira@catolicasc.org.br)

### RESUMO

*Durante o processo de fundição de uma indústria metalúrgica uma grande quantidade de resíduos é gerada. Um dos principais resíduos é a areia de fundição. Uma das empresas da região de Santa Catarina que gera esse resíduo é a WEG Equipamentos Elétricos, grande multinacional brasileira, que disponibilizou o material para o estudo. Este trabalho tem como objetivo caracterizar o concreto com areia de fundição em substituição parcial a areia natural em relação ao módulo de elasticidade. Para analisar as propriedades do concreto foram dosados e produzidos quatro traços com as porcentagens de 0%, 10%, 20% e 30% de areia de fundição em substituição parcial a areia natural em massa. As misturas de concreto apresentaram consistência plástica com abatimento de tronco de cone entre 90mm e 110mm. Em relação aos resultados obtidos para o módulo de elasticidade verificou-se que a porcentagem de substituição de areia de fundição não influenciou significativamente nos valores encontrados.*

Palavras-Chave: módulo de elasticidade, concreto, areia de fundição.

### INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é movida por meio da utilização de determinados materiais, encontrados sob as condições da natureza à nossa volta, e utilizados de acordo com o tipo de aplicação. Um dos materiais de maior consumo no mundo é o concreto, obtido basicamente pela composição de cimento, água e agregados, podendo conter aditivos.

O concreto é um material de larga aplicação na construção civil, obtido pela composição de cimento, agregados e água, podendo conter aditivos que também

influenciam no seu desempenho<sup>(1)</sup>. O traço e dosagem do concreto devem atender a certos requisitos de resistência, trabalhabilidade e durabilidade, que são as propriedades fundamentais do mesmo.

O agregado miúdo utilizado na mistura para o concreto geralmente é a areia natural. Porém, a extração da areia gera impactos ambientais ao meio ambiente, tais como a perda da biodiversidade, o comprometimento do regime de vazão dos cursos de água, além do assoreamento dos mesmos pela destruição das margens e matas ciliares.

Neste contexto, surge a ideia da substituição parcial da areia natural pela areia de fundição. A maior indústria metalúrgica da cidade de Jaraguá do Sul, denominada WEG S.A, gera uma grande quantidade de resíduos no seu processo de fundição. Esse resíduo encaminhado para descarte tornou-se útil para a produção do concreto descrito nesse artigo.

O objetivo geral deste artigo é a caracterização do módulo de elasticidade do concreto com areia de fundição em substituição parcial à areia natural.

O módulo de elasticidade é a razão entre a tensão e a deformação reversível. O módulo de elasticidade do concreto na compressão varia de 14 a 40Gpa, e influencia a rigidez na mistura<sup>(2)</sup>.

A substituição da areia convencional pela de fundição em seu foi estudada em várias pesquisas<sup>(3-4)</sup>. Em dosagens maiores de resíduo é necessária a adição de plastificantes para obtenção da mesma trabalhabilidade. Também foi observada uma diminuição da resistência mecânica em torno de 20% até 30%. Em alguns casos foi observado que o concreto contendo até 10% de areia de fundição apresentou resultados de resistência à compressão e tração e módulo de elasticidade semelhante ao concreto sem areia de fundição.

Uma das principais características do concreto que determina a sua aptidão para ser manuseado é a sua consistência, que pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto se deformar sob a ação de sua própria massa <sup>(5)</sup>. É fundamental que a consistência seja o suficiente para que o concreto seja transportado, lançado, adensado e acabado sem segregação<sup>(6)</sup>.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a determinação do módulo de elasticidade do concreto convencional com areia de fundição em substituição parcial a areia natural, foram seguidas as

seguintes etapas: caracterização dos agregados, dosagem dos concretos, produção dos concretos e por fim a caracterização dos concretos.

### Caracterização dos agregados

As características analisadas dos agregados foram as seguintes: composição granulométrica, que leva em conta a dimensão máxima do agregado e seu módulo de finura; massa específica e teor de material pulverulento.

A dimensão máxima do agregado é designada pela dimensão da abertura da peneira, na qual ficam retidos 5% ou menos das partículas do agregado. O módulo de finura é calculado com os dados da análise granulométrica, pela soma das porcentagens retidas acumuladas do agregado em cada uma das peneiras de uma série especificada, sendo a soma dividida por 100.

A composição granulométrica do agregado miúdo é determinada de acordo com o que estabelece a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003)<sup>(7)</sup>, onde é descrito os procedimentos para o ensaio.

A massa específica real ou absoluta é definida como a massa dos grãos do agregado que ocupam uma unidade de volume. A norma NBR NM 52 (ABNT, 2006)<sup>(8)</sup> especifica o método de ensaio e procedimentos referentes ao experimento realizado, a partir do qual é obtido o valor que condiz à massa específica de cada um dos agregados testados.

A norma NBR NM 46 (ABNT, 2006)<sup>(9)</sup> fixa o procedimento da determinação do teor de material pulverulento em agregados para concreto.

### Dosagem e produção dos concretos

O Método ABCP utilizado exige o conhecimento das características e propriedades dos materiais utilizados na dosagem: tipo de cimento, sua massa específica e nível de resistência aos 28 dias; análise granulométrica e massa específica dos agregados; dimensão máxima característica do agregado graúdo; consistência desejada do concreto no estado fresco; e resistência de dosagem requerida do projeto.

A resistência de dosagem requerida para o concreto é de 25 Mpa e a consistência desejada no estado fresco é entre 9000 e 1100 mm.

Através da caracterização de todos os constituintes do concreto, foi possível a determinação de cada traço, citados a seguir:

8,18 : 16,12:19,88:4,09 (Kg) → sem resíduo

8,18: 1,74:14,51:19,88:4,09 (Kg) → 10% de resíduo

8,18: 3,49:12,896:19,88: 4,09 (Kg) → 20% de resíduo

8,18: 5,23:11,284:19,88: 4,09 (kg) → 30% de resíduo

Em todos os traços foram utilizados 65,44g de aditivo superplastificante.

A produção dos concretos foi realizada através da mistura dos constituintes do concreto através do traço determinado em uma betoneira com capacidade para 120 litros, rotação de 28 rpm e potência do motor de 1/3 CV.

Após finalizar a mistura, o concreto foi moldado, com procedimentos de acordo com a NBR 5738 (2003)<sup>(10)</sup> que diz respeito à moldagem e cura dos corpos de prova. Nas primeiras 24 horas os corpos de prova permaneceram no laboratório. Em seguida, foram desmoldados e colocados em tanques de cura por um período de 28 dias, para que o mesmo fosse hidratado para que posteriormente fosse realizado o ensaio para determinação do módulo de elasticidade.

### Caracterização dos concretos

A caracterização do concreto foi feita através de duas maneiras. A primeira no estado fresco (consistência) e a segunda no estado endurecido (módulo de elasticidade).

O índice de consistência foi obtido através do ensaio do abatimento do tronco de cone seguindo os critérios estabelecidos pela norma NBR NM 67 (1998)<sup>(11)</sup>. A realização do *Slump Test* pode ser visualizada na Figura 01.

Após o concreto passar pela fase de cura durante 28 dias, foi realizado o ensaio do módulo de elasticidade do concreto, seguindo os parâmetros descritos pela norma NBR 8522 (2008)<sup>(12)</sup>. O ensaio, mecanizado, foi feito através da Máquina de Ensaio Universal de marca EMIC, modelo PC 200 (conforme Figura 02) onde foram ensaiados os 6 corpos de prova de cada mistura de concreto, tendo no total 24 corpos de prova ensaiados.

Figura 01 - Abatimento de tronco de cone



Fonte: Os autores, 2015.

Figura 02 - Máquina EMIC



Fonte: Os autores, 2015

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Agregados miúdos e agregado graúdo

O agregado miúdo possui massa específica de  $2,65\text{g/cm}^3$ ; o agregado graúdo,  $2,83\text{g/cm}^3$  e o resíduo,  $2,45\text{g/cm}^3$ . A maioria dos agregados naturais possui massa específica entre  $2,6$  e  $2,7\text{ g/cm}^3$ <sup>(6)</sup>.

De acordo com o ensaio realizado em laboratório, o valor de massa unitária determinada para a brita é igual a  $1,62\text{g/cm}^3$ . O resultado indica que o agregado possui peso médio, segundo critérios de norma, o que geralmente apresenta baixo índice de porosidade, além de ocupar um volume relativamente pequeno em relação à massa, quando comparado a outros tipos de agregados graúdos. A massa unitária da areia brita ou pedregulho pode variar entre  $1$  e  $2\text{ g/cm}^3$ , portanto, a massa unitária da brita está dentro do padrão <sup>(1)</sup>.

A Tabela 01 representa a composição granulométrica do agregado graúdo classificado comercialmente como brita 0.

Tabela 01 - Composição granulométrica do agregado graúdo

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO</b>							
<b>a) Massa inicial seca (kg) = 5</b>				<b>b) Massa inicial seca (kg) = 5</b>			
Abertura das Peneiras (mm)	Mrg) Massa retida (gramas)		Mr%) Massa retida (Porcentagem)		(Vr) Massa retida variação 4%	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b			
25	0,0	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
19	49,3	49,5	1,00%	1,00%	0,00%	1,00%	1,00%
12,5	2.169,6	2.204,9	43,40%	44,10%	0,70%	43,80%	44,80%
9,5	1.685,4	1.741,3	33,70%	34,90%	1,10%	34,30%	79,00%
6,3	1.062,6	973,6	21,30%	19,50%	1,80%	20,40%	99,40%
4,75	22,6	20,2	0,50%	0,40%	0,00%	0,40%	99,80%
2,36	4,5	3,0	0,10%	0,10%	0,00%	0,10%	99,90%
1,18	0,1	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,90%
0,6	0,0	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,90%
0,3	0,2	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,90%
0,15	1,1	1,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,90%
Fundo	3,9	2,9	0,10%	0,10%	0,00%	0,10%	100,00%
Mt) Total	4.999,3	4.996,4	<b>D. máx. = 19,0mm</b>		<b>Módulo de Finura = 6,79</b>		

Fonte: Os autores, 2015

Na Tabela 02 pode-se observar a quantidade de agregado miúdo retido em cada peneira.

Tabela 02 - Composição granulométrica do agregado miúdo

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO</b>							
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) = 1.000,0				(Vr)	(Mrm)	(Mra)
	b) massa inicial seca (gr) = 1.000,0				Massa retida	Massa retida	Massa retida
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)		Variações	média	acumulada
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	± 4 %	(%)	(%)
9,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	2,1	2,8	0,2%	0,3%	0,1%	0,2%	0,2%
2,36	55,6	58,4	5,6%	5,8%	0,3%	5,7%	5,9%
1,18	93,0	94,2	9,3%	9,4%	0,1%	9,4%	15,3%
0,6	180,1	176,5	18,0%	17,7%	0,4%	17,8%	33,1%
0,3	323,7	316,2	32,4%	31,6%	0,7%	32,0%	65,1%
0,15	281,0	284,7	28,1%	28,5%	0,4%	28,3%	93,4%
Fundo	64,3	66,9	6,4%	6,7%	0,3%	6,6%	100,0%
Mt) Total	999,8	999,7	<b>Módulo de Finura= 2,13</b>		<b>Diâmetro máximo =4,8</b>		

Fonte: Os autores, 2015

O módulo de finura resultou no valor 2,13 o que caracteriza uma areia fina.

A seguir, a Tabela 3 referente a granulometria do resíduo de fundição:

Tabela 03 - Composição granulométrica do resíduo de fundição

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO DE FUNDIÇÃO							
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) =		1.000,0		(Vr)	(Mrm)	(Mra)
	b) massa inicial seca (gr) =		1.000,0		Massa retida	Massa retida	Massa retida
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)		Variações	média	acumulada
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	± 4 %	(%)	(%)
9,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	8,8	12,6	0,9%	1,3%	0,4%	1,1%	1,1%
2,36	24,6	26,5	2,5%	2,7%	0,2%	2,6%	3,6%
1,18	23,9	22,6	2,4%	2,3%	0,1%	2,3%	6,0%
0,6	26,8	24,7	2,7%	2,5%	0,2%	2,6%	8,5%
0,3	296,9	275,9	29,7%	27,6%	2,1%	28,7%	37,2%
0,15	595,5	612,5	59,6%	61,3%	1,8%	60,5%	97,7%
Fundo	23,0	23,6	2,3%	2,4%	0,1%	2,3%	100,0%
Mt) Total S	999,5	998,4	<b>Módulo de Finura = 1,54</b>			<b>Diâmetro máximo = 2,36</b>	

Fonte: Os autores, 2015

O módulo de finura do resíduo de fundição resultou no valor de 1,54 e seu diâmetro máximo 2,36 mm.

No agregado miúdo estudado o teor de material pulverulento corresponde a 4,10% em massa. Por sua vez, o agregado graúdo apresentou um índice de 0,90% em massa. E por fim, o resíduo em questão apresentou nos ensaios um teor de 11,27% em massa de material pulverulento.

### Consistência e Módulo de Elasticidade do Concreto

Através da Tabela 04 é possível visualizar a quantidade de água adicionada e o abatimento de cada mistura.

Tabela 04 - Índice de consistência

Tipo de mistura	Quantidade de água (kg)	Abatimento (mm)
Sem resíduo	3,833 kg	100
10% de resíduo	4,080 kg	108
20% de resíduo	4,673 kg	90
30% de resíduo	4,709 kg	95
<b>Média</b>		<b>98,25</b>
<b>Desvio padrão</b>		<b>6,65</b>

Fonte: Os autores, 2015

A consistência esperada está associada à relação de água adicionada ao concreto. Quanto mais água, maior era o abatimento do cone.

Uma trabalhabilidade alta é caracterizada por concretos com abatimento entre 80 e 155mm<sup>(6)</sup>. Os resultados obtidos, 100, 108, 90 e 95 mm, classificam os quatro concretos como trabalháveis.

A seguir, na Tabela 05, estão apresentados os resultados do módulo de elasticidade para cada traço calculado, onde foram encontrados seis valores de módulo de elasticidade referentes aos seis corpos de prova.

Tabela 05 - Módulo de elasticidade

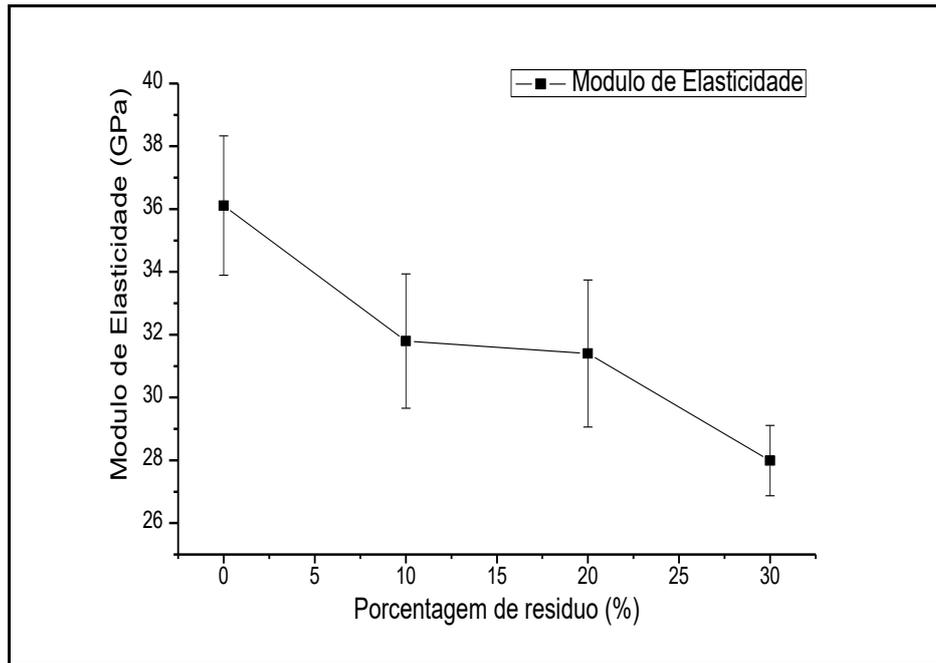
Corpo de Prova	Módulo de Elasticidade (Gpa)			
	Sem resíduo	10% de resíduo	20% de resíduo	30% de resíduo
1	36,20	34,16	33,97	27,49
2	34,32	31,15	34,43	27,49
3	37,58	32,25	30,33	29,32
4	35,60	33,89	31,38	26,78
5	33,41	28,37	29,51	27,36
6	39,55	30,98	28,78	29,47
<b>Média</b>	36,11	31,80	31,40	27,99
<b>Desvio Padrão</b>	2,22	2,14	2,34	1,12

Fonte: Os autores, 2015

Observa-se que o módulo de elasticidade sofreu alterações em todos os traços. Enquanto o concreto sem resíduo apresentou módulo de elasticidade de 36,11 GPa, o traço com 10% de resíduo obteve uma redução da média em 11,94% em relação ao traço sem resíduo. Já o traço com 20% de resíduo obteve redução de 13,04% da média, e o traço com 30% de resíduo a redução foi de 22,47% da média. O gráfico da Figura 03 mostra essa variação.

Percebe-se que as variações não são bruscas, e que à medida que o resíduo era adicionado, os valores no módulo de elasticidade diminuam.

Figura 03 – Módulo de Elasticidade das argamassas



Fonte: Os autores, 2016

## CONCLUSÕES

Comparando e analisando as características e comportamentos da areia de fundição, nota-se que este material apresenta pouca variação em relação a areia natural no que diz respeito à granulometria, índice de material pulverulento e massa específica.

Com relação ao índice de consistência referente às quatro amostras analisadas, o concreto atingiu uma excelente trabalhabilidade, uma das características fundamentais do concreto.

Verifica-se que o módulo de elasticidade do concreto convencional em estudo, tanto na presença, quanto na ausência do resíduo, não diferiu significativamente.

Através deste estudo e levando em consideração os resultados obtidos conclui-se que, o reaproveitamento da areia de fundição e sua utilização na mistura de concreto se apresentam como uma alternativa viável, tanto técnica como ambientalmente, observando também que não apresenta desvantagem econômica e/ou construtiva.

## REFERÊNCIAS

1. RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil**. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2011.
2. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Arte Interativa, 2008.
3. MONOSI, S.; SANI, D.; TITTARELLI, F. Used Foundry Sand in Cement Mortars and Concrete Production. **The Open Waste Management Journal**, n. 3, p. 18-25, 2010.
4. GUNEY, Y.; SARI, Y. D.; YALCIN, M.; TUNCAN, A.; DONMEZ, S. Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. **Waste Management**, n. 30, p.1705-1713, 2010.
5. ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011.
6. NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 46: Agregados – Determinação do teor de material pulverulento**. Rio de Janeiro, 2003.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8522: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ANALYSIS OF CONCRETE ELASTIC MODULUS WITH CASTING SAND IN  
PARTIAL REPLACING THE NATURAL SAND

ABSTRACT

During the foundry process on a metallurgic company, a large amount of residues is generated. As a main residue of this process is know as casting sand. One of the companies of the Santa Catarina region that generates this kind of waste material is WEG Electrical Equipments, a large Brazilian multinational company, which provided the material for study. This research aims to partially replace the natural sand by the casting sand and then meet the conventional concrete elastic modulus. To perform the properties analysis, were used four dosed concrete mixtures with rates of 0%, 10%, 20% and 30% of the casting sand as a partial replacement of the natural sand. The concrete mixtures showed a plastic consistency with a slump test between 90 and 110mm. For the results obtained for the elasticity modulus, it was found that the addition of casting sand did not significantly influence we values found

Keywords: Elastic modulus, concrete, casting sand.