

EFEITO DA AREIA DE FUNDIÇÃO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Rafael Martins da Silva (1), Fernando Pelisser (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) rafamds@hotmail.com (2) fep@unesc.net

RESUMO

A areia residual de fundição é um resíduo sólido oriundo da etapa de desmoldagem de peças metálicas na indústria metalúrgica. Por ser um resíduo ainda não reutilizável em sua totalidade, gera um grande problema ambiental. Parte desse resíduo vem sendo estocado nas próprias empresas, ou enviado a aterros industriais, gerando custos para o descarte do material, bem como, a contaminação do meio ambiente. Neste contexto, a indústria da construção civil tem apresentado grande potencial no que diz respeito à utilização deste resíduo na produção dos mais variados produtos dentro do setor, tendo em vista a grande quantidade de matéria-prima utilizada. Este fato pode ser comprovado pelos vários trabalhos já publicados que estudaram a viabilidade técnica e ambiental da areia de fundição como matéria-prima na fabricação de argamassas e concretos. Este trabalho teve como objetivo principal estudar o comportamento de concreto produzido com areia residual de fundição (ARF). Para tal foi avaliada a trabalhabilidade no estado fresco conforme NBR NM 67. Já no estado endurecido, foram realizados ensaios mecânicos de resistência a compressão e determinação de módulo de elasticidade segundo NBR 5739 e NBR 8522, respectivamente. No que se referem à plasticidade, foi observado que a substituição de 20% de areia fina pela areia de fundição manteve a mesma classe de trabalhabilidade do concreto, evitando o acréscimo de água e o prejuízo na resistência. Quanto ao comportamento mecânico, foram verificados resultados equivalentes, na idade de 7 dias, porém aos 28 dias, um decréscimo de resistência com a utilização a ARF. Esse comportamento é decorrente de dois efeitos principais, partículas contaminantes de baixa resistência presentes na areia, como pó-de-carvão e resinas fenólicas, e devido a algum processo de degradação através da interação ARF/compostos hidratados do cimento Portland.

Palavras-Chave: *Areia residual de fundição; Concreto; Resíduos sólidos*

1. INTRODUÇÃO

A areia residual de fundição é uma mistura que comumente é composta de areia base, resinas fenólicas e pó-de-carvão. Esta mistura proporciona características de perfeita coesão, compactabilidade, maleabilidade, trabalhabilidade, refratariedade, resistência a esforços mecânicos de compressão e tração, expansividade volumétrica, permeabilidade e perfeita desmoldagem, que são requisitos dessa areia para o processo de moldagem e fundição [1].

Em contra partida esta areia perde suas características e propriedades após várias utilizações, sendo descartada posteriormente como resíduo sólido em um número bem expressivo de ton/ano.



O descarte inadequado da areia usada pode causar vários problemas. Um dos problemas decorrentes é quando esta é submetida a intempéries e seus contaminantes mais prováveis como resinas fenólicas, metais e não metais, lixiviando-se, podendo contaminar os solos e o lençol freático. Esta contaminação tende a ocorrer mesmo em aterros legalizados, pois muitos não foram devidamente preparados para receber este material, além do que o descarte em aterros conduz a um elevado custo [13].

Segundo dados da Associação Brasileira de Fundição [11], o Brasil é o 7º maior produtor mundial de fundidos, produzindo em torno de 3.241,000 ton/ano (base 2010), gerando somente no Brasil, em média cerca de 3,5 milhões de ton/ano de resíduos. Considerada como resíduo sólido, a areia de fundição é classificada como resíduo não perigoso classe II, conforme ABNT NBR 10004 [10].

Vários estudos e pesquisas vêm sendo realizadas para buscar uma solução para sua utilização parcial ou total com outros materiais como matéria-prima. Uma das soluções que vem apresentando resultados satisfatórios é a aplicação da areia residual de fundição na indústria da construção civil.

Dos estudos já realizados sobre a areia de fundição em concreto, em destaque temos os realizados por Khatib e Ellis (2001); Naik et al. (2003, 2004); Siddique et al. *apud* Silva et al.(2011) [15]. Outra aplicação que se destaca é a utilização da areia de fundição em concreto asfáltico apresentado por Javed et al, *apud* Silva et al. (2011) [15]. Os mais recentes estudos vem de Silva et al, 2010 [14], que estudou a influência do emprego de areia de fundição nas propriedades de argamassas e concretos e o estudo realizado por Rocha et al.(2011) [13], sobre a utilização da areia de fundição em concreto auto-adensável. Conforme estudos realizados por Silva et al. (2010) [14], a areia de fundição demonstra efeitos expansivos com a ocorrência de fissuração e queda de resistência do material. Já para Rocha et al. [13], a areia de fundição em concretos do tipo auto-adensáveis contribuem para um controle de exsudação, não tendo sido observados evidências de degradação. No entanto essa imparcialidade entre resultados que favorecem e desfavorecem sua utilização nos mais variados produtos do setor da construção civil, estão acondicionadas ao grau de elementos físico-químicos presentes na areia de fundição. Isto depende muito de sua origem e composição, como por exemplo, a variação dos teores de aglomerante, tais como, argila montmoriloníticas, pó-de-carvão, resquícios metálicos, resinas fenólicas e bentonita.

2. MATERIAIS

2.1 ADITIVO E CIMENTO

O aditivo utilizado na produção das misturas de concreto ao longo deste estudo foi do tipo polifuncional (reduzidor de água), suas características são apresentadas na tabela 1, e o cimento utilizado como aglomerante foi o cimento CPV – ARI RS de massa específica 3,00 kg/dm³.

Tabela 1 - Características Aditivo Polifuncional

Função Principal	Redutor de água
Aspecto	Líquido
Cor	Castanho Escuro
Densidade	1,160 - 1,210 kg/dm ³

Fonte: Dpto. de tecnologia do concreto Engemix – Florianópolis SC, 2011

2.2 AGREGADOS GRAÚDOS E MIÚDOS

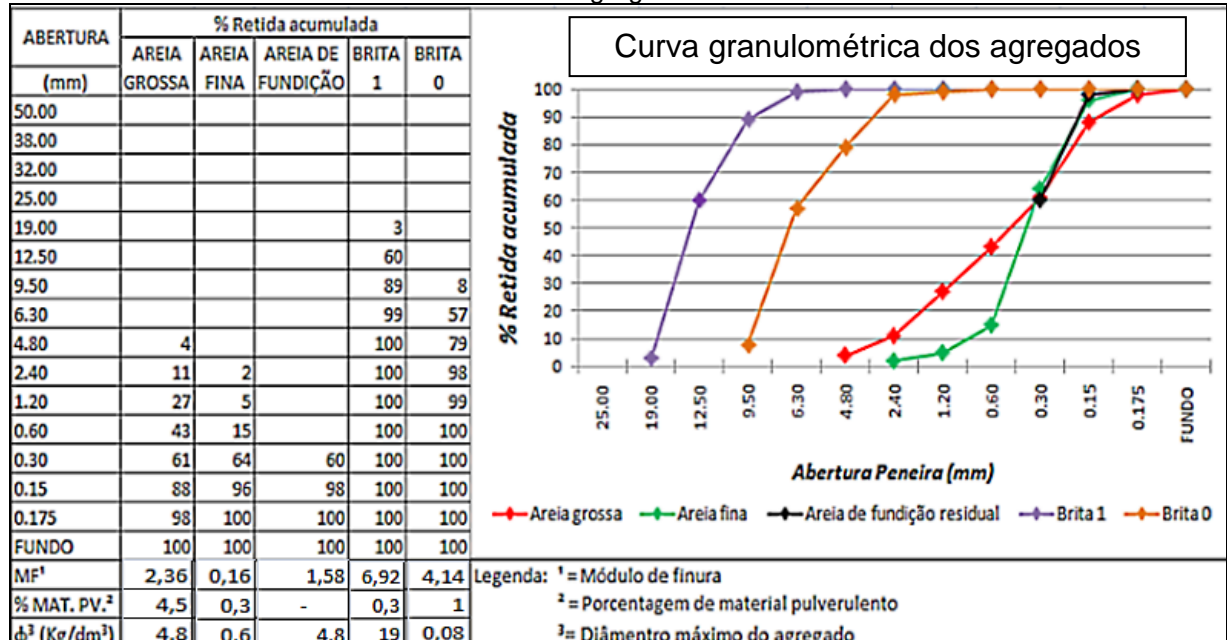
Como agregado graúdo fez-se a combinação de duas britas de origem basáltica, brita 1 e brita 0, utilizadas nas proporções em massa, conforme a tabela 2. Como agregado miúdo empregou-se a combinação de areia grossa, areia fina e areia de fundição nas proporções conforme mostradas na tabela 2. Por classificação granulométrica, segundo a tabela 3, a areia de fundição substituirá a areia fina nas composições desse estudo. A tabela 3 mostra as características e a curva granulométrica dos agregados citados na tabela 2.

Tabela 2 – Composição em massa dos agregados

Traço em Massa	1 : m	1:4,0		1:5,5		1:7,0	
		Ref.	T1	Ref.	T2	Ref.	T3
Traço unitário: cimento, areia e pedra	c:a:p	1 : 1,75 : 2,25		1 : 2,58 : 2,92		1 : 3,40 : 3,60	
Brita 1	Kg	11,25	11,25	10,20	10,20	10,80	10,80
Brita 0	Kg	11,25	11,25	10,20	10,20	10,80	10,80
Areia Grossa	Kg	14,00	14,00	14,48	14,48	16,32	16,32
Areia Fina	Kg	3,50	-	3,62	-	4,08	-
Areia de fundição	Kg	-	3,50	-	3,62	-	4,08

Fonte: Rafael Martins da Silva

Tabela 3 - Características Granulométricas dos agregados



Fonte: Rafael Martins da Silva

3. MÉTODOS

3.1 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

O presente estudo, conforme a (tabela 4), mostra 3 dosagens distintas, nas proporções 1:4,0 , 1:5,5 e 1:7,0 (referência). Para cada composição, foi realizada uma mistura com a substituição de areia fina pela ARF (20%), devido esta possuir o mesmo comportamento granulométrico que a areia fina.

Tabela 4. Composições dos traços a serem ensaiados

Traço em Massa	1 : m	1:4,0		1:5,5		1:7,0	
		Ref.	T1	Ref.	T2	Ref.	T3
Brita 1	Kg	11,25	11,25	10,20	10,20	10,80	10,80
Brita 0	Kg	11,25	11,25	10,20	10,20	10,80	10,80
Areia Grossa	Kg	14,00	14,00	14,48	14,48	16,32	16,32
Areia Fina	Kg	3,50	-	3,62	-	4,08	-
Areia de fundição	Kg	-	3,50	-	3,62	-	4,08
Cimento	Kg	10,00	10,00	7,00	7,00	6,00	6,00
Aditivo ¹	g	70	70	50	50	42	42

Fonte: Rafael Martins da Silva

¹ valor referente a 0,7% do peso do cimento utilizado no traço.

Os concretos foram avaliados, no estado fresco, pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (slump-test), conforme NBR NM 67.

3.2 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Por questões ambientais e baseadas no fato de que a areia de fundição é elencada como resíduo sólido e para que possa ser gerenciada adequadamente, a mesma passou pelo processo de classificação da NBR 10.004 [10], para determinar os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública que a mesma possa apresentar. Também foram realizados testes de toxicidade aguda, conforme a portaria Nº 017-FATMA (Metodologia de análise ABNT NBR 12713 [6])

Os concretos foram produzidos e o procedimento de moldagem, desmoldagem e cura seguiram às recomendações da norma NBR 5738 [7]. Nos concretos foi determinada a resistência à compressão axial (conforme norma NBR 5739) [5] e de módulo de elasticidade NBR 8522 [4], nas idades de 7 e 28 dias. Para garantir o nivelamento e aplicação homogênea da carga, as faces dos corpos-de-prova, tiveram seus topos cobertos por anéis de neoprene confinados em anel metálico, no momento do ensaio de compressão axial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AVALIAÇÃO DE TRABALHABILIDADE

Os índices de plasticidade (tabela 5), nos mostra, que a troca da areia fina pela areia de fundição não levou a alterações na consistência do concreto, sendo mantida a relação água/cimento, obtendo-se a mesma trabalhabilidade em relação ao traço de referência.

Tabela 5. Características e valores de trabalhabilidade obtidos nos traços ensaiados

Relação cimento/agregado	01:04,0		01:05,5		01:07,0	
	Ref.	T1	Ref.	T2	Ref.	T3
Traço unitário: cimento, areia e pedra	1 : 1,75 : 2,25		1 : 2,58 : 2,92		1 : 3,40 : 3,60	
Relação a/c	0,47	0,47	0,58	0,58	0,75	0,75
Abatimento (cm)	10,5	10,5	10,5	10,5	7	7

Fonte: Rafael Martins da Silva

Depois de realizados os ensaios de consistência pelo método de abatimento de tronco de cone, foi realizado o preenchimento dos moldes com adensamento mecânico, sendo moldados 3 corpos-de-prova de 10,0 x 20,0cm (diâmetro x altura) de cada traço totalizando 18 amostras.

4.2 ANÁLISE DE TOXICIDADE DA AREIA RESIDUAL DE FUNDIÇÃO

A areia de fundição foi analisada conforme os procedimentos recomendados pelas normas NBR 10.005 [8] e NBR 10.006 [9], para classificação em conformidade com a NBR 10.004 [10]. Essa classificação permite concluir que o resíduo apresenta características físico-químicas CLASSE II (não inerte). Após a classificação analisou-se a composição química por FRX², onde se pode observar um elevado teor de carbono (tabela 6).

Tabela 6 - Composição química areia residual de fundição

CHUMBO (Pb)	< 0,05%
ZINCO (Zn)	< 0,01%
MAGNÉSIO (Mg)	0,23
POTÁSSIO (K)	0,50%
SÓDIO (Na)	0,30%
CÁLCIO (Ca)	0,20%
CARBONO (C)	4,50%
ENXOFRE (S)	0,03%

Fonte: Rafael Martins da Silva

Para análise de toxicidade aguda foi utilizada uma composição de argamassa, com proporção similar a praticada no concreto (1:3), e, utilizando areia padrão brasileira como agregado miúdo, a fim de reduzir às variações dos resultados. Também foi aumentada a concentração de areia, para 50% e 100% de substituição. A tabela 7, mostra os resultados para a idade de 7 dias, onde foram verificados índices acima do permitido, inclusive para o concreto de referência. Isso pode ter ocorrido, devido à alcalinidade do concreto, pela presença de hidróxido de cálcio, solúvel em água, principalmente quando a resistência é baixa. No entanto, a substituição de 100% de areia convencional pela areia de fundição, mostra resultados mais elevados em relação ao concreto de referência e também para 50% de substituição.

Tabela 7. Resultado de toxicidade aguda

FATOR DE TOXICIDADE AGUDA			
Amostra	Fator de Toxicidade	Limite	Conclusão
Traço referência	8	4	Tóxico
50% de areia de fundição	8	4	Tóxico
100% de areia de fundição	24	4	Tóxico

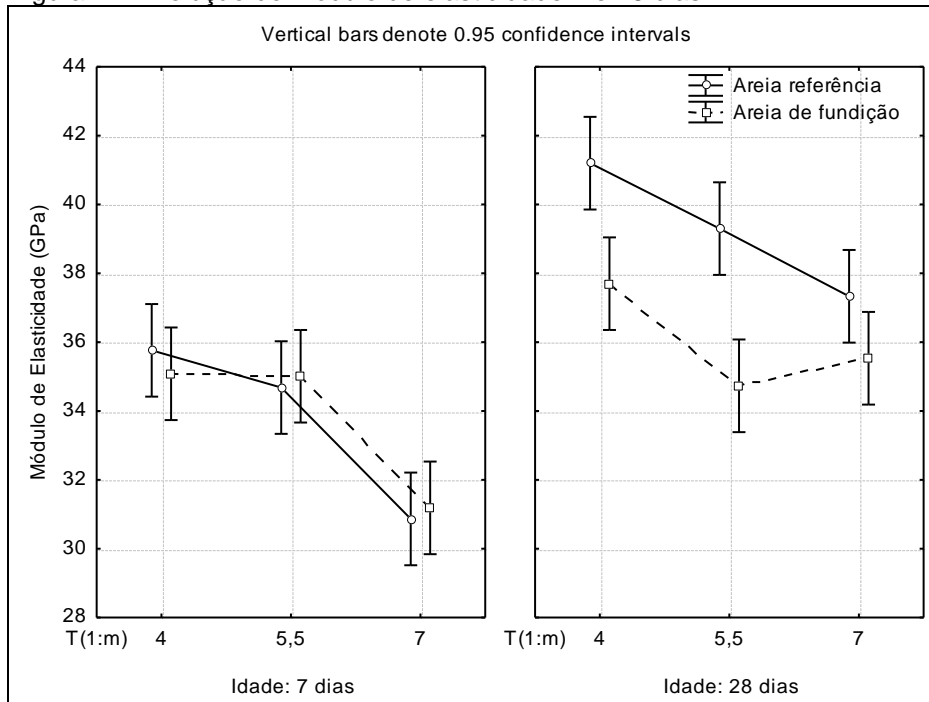
Fonte: Rafael Martins da Silva

² Espectrometria de fluorescência de raios x

4.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Na figura 1 e tabela 8 podem ser observados os resultados de módulo de elasticidade para as 3 classes de concreto, com e sem adição da ARF, para as idades de 7 e 28 dias. Pode ser verificado um efeito normal da composição, influenciada pela relação a/c ou pelo consumo de cimento, e, para idade de 7 dias, um comportamento equivalente para os dois tipos de areia. No entanto, na idade de 28 dias, é observada uma queda no módulo de elasticidade com a utilização da ARF, causado pela existência de pontos de fragilidade na matriz do cimento hidratado. Esses resultados tornam-se mais acentuados ao avaliar a resistência à compressão, devido à tensão reduzida utilizada para determinação do módulo de elasticidade.

Figura 1 – Evolução do módulo de elasticidade 7 e 28 dias



Fonte: Rafael Martins da Silva

Tabela 8 - Resultados do módulo de elasticidade do concreto no estado endurecido

Dados			Referência	Areia de Fundição	Referência	Areia de Fundição	Referência	Areia de Fundição
Traço			1: 4,0		1: 5,5		1: 7,0	
Módulo de Elasticidade (Gpa)	I d a d e	7 dias	35,50	35,32	34,15	34,79	29,45	30,90
			36,57	35,85	34,22	34,79	30,67	30,90
			37,08	36,40	36,28	35,45	32,48	31,76
	28 dias	40,1	36,7	37,8	33,4	36	34,8	
		40,9	37,3	39,2	35,1	37,3	35,2	
		42,6	38,2	40,9	35,7	38,7	35,6	

Fonte: Rafael Martins da Silva

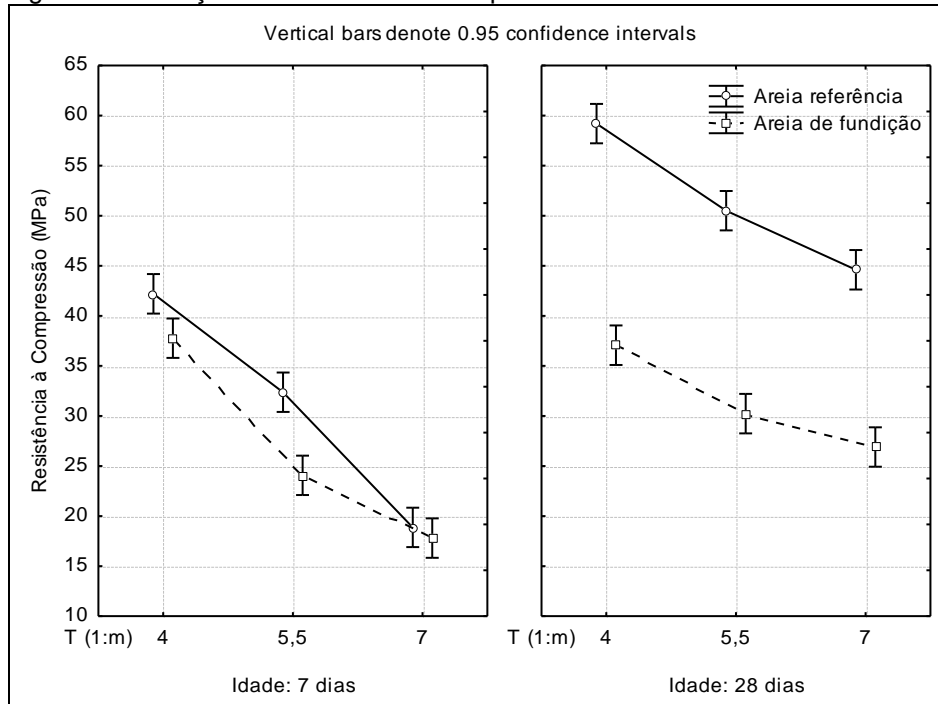
4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na figura 2, tabela 9 e figura 3 podem ser observados os resultados de resistência à compressão para as 3 composições do concreto, com e sem adição da ARF para as idades de 7 e 28 dias. É observado um efeito normal da composição dos concretos, e, para idade de 7 dias é constatado um efeito não significativo do tipo de areia na resistência do concreto.

No entanto, para idade de 28 dias, nota-se uma redução significativa da resistência, com emprego da ARF, ou um prejuízo no ganho de resistência pela hidratação do cimento. Esse comportamento pode ter sido ocasionado devido a pontos de fragilidade causados pelos componentes da areia, juntamente com alteração da cinética de hidratação do cimento em presença de compostos ácidos presentes no pó-de-carvão. Outra causa de influência na resistência de concretos com ARF, segundo Silva et al. (2011) [15], é o aumento de ar incorporado nos concretos. O mesmo também observou uma queda significativa da resistência à compressão, ocasionada pelos elementos presentes na areia de fundição, tais como: pó-de-carvão e resquícios metálicos provenientes do processo de fundição. Tais materiais indicam uma considerável contribuição na ocorrência de reações expansivas, levando a uma redução acentuada da resistência mecânica.

Apesar disto os concretos alcançaram uma resistência elevada, atingindo a classe de resistência de concreto de alto desempenho, inclusive com a utilização de ARF, se somado ao fato de que a resistência à compressão não é um fator limitante difícil de ser resolvido nesse caso. Porém, deve-se chamar atenção para dois aspectos: (I) a viabilidade econômica, pois é inviável corrigir a perda de resistência com o aumento do consumo de cimento, para resolver uma característica de um produto de baixo valor agregado, como a areia; (II) uma das propriedades técnicas que é a base para o desenvolvimento sustentável, a durabilidade, precisa ser garantida, pois os custos com manutenção e recuperação, sempre superam, em escala exponencial os custos de implantação. Assim sendo, é preciso investigar, se o mecanismo de perda de resistência do concreto com ARF, não afeta sua durabilidade, inviabilizando assim sua utilização racional e eficiente.

Figura 2 - Evolução da resistência a compressão aos 7 e 28 dias



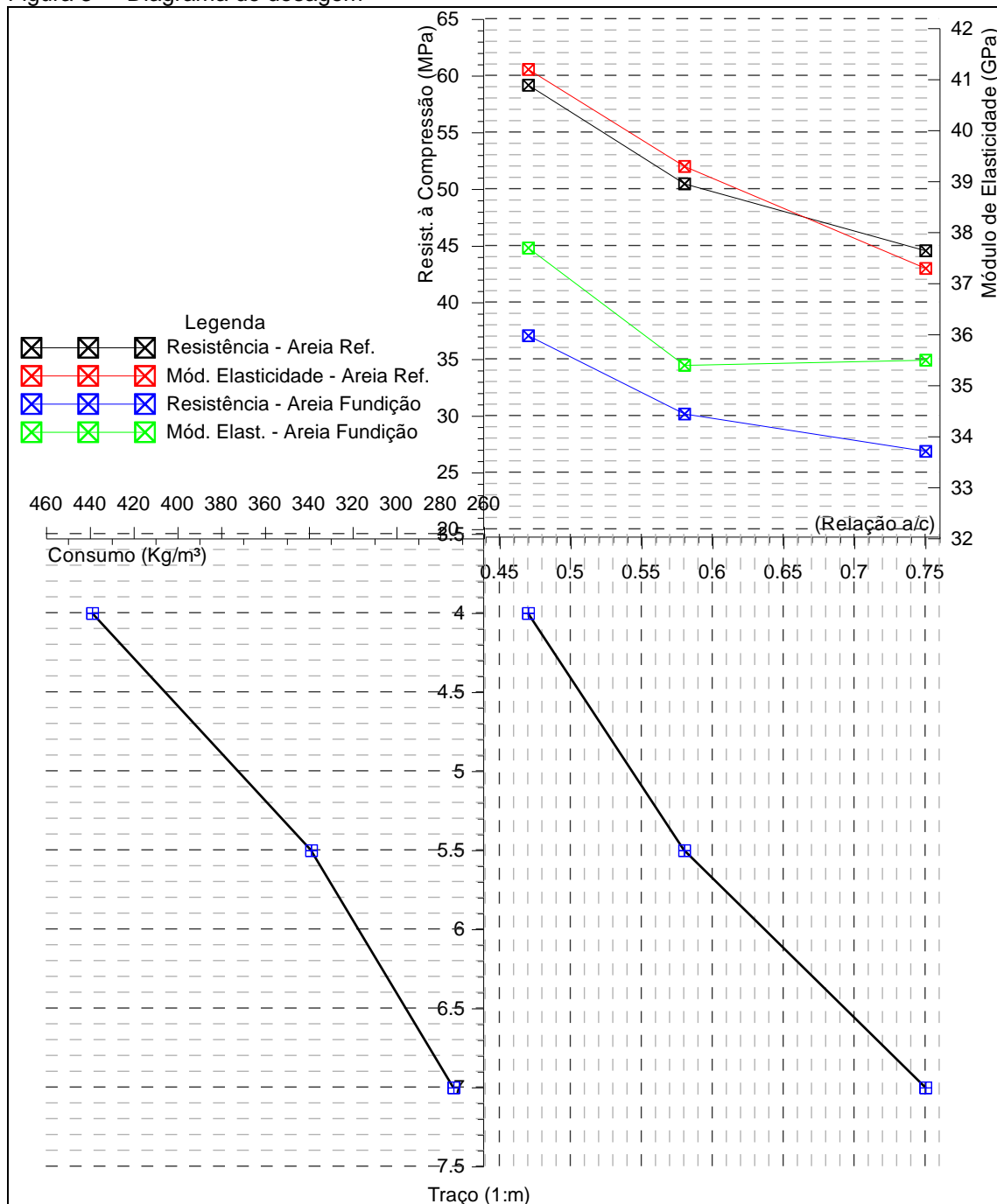
Fonte: Rafael Martins da Silva

Tabela 9 - Resultados de resistência do concreto no estado endurecido

Dados			Referência	Areia de Fundição	Referência	Areia de Fundição	Referência	Areia de Fundição
Traço			1: 4,0		1: 5,5		1: 7,0	
Resistência a compressão (Mpa)	Idade	7 dias	41,9	35,1	30,2	23,5	17,7	17,1
			42,3	38,6	33,3	23,6	18,6	18,1
			42,4	39,6	33,6	25,1	20,3	18,2
	28 dias	57,1	35,8	46,7	29,3	43,4	25,9	
		59,5	37,3	50,6	29,9	44,5	26,9	
		60,2	38,1	54,2	31,5	45,9	27,9	

Fonte: Rafael Martins da Silva

Figura 3 - Diagrama de dosagem



Fonte: Rafael Martins da Silva

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, fica evidente que areia de fundição influencia diretamente no desempenho dos concretos quanto a sua resistência, quando comparados a um traço de referência. Embora mantenha características de

trabalhabilidade quando equiparada ao traço de referência, a areia de fundição por possuir materiais muito reagentes em sua composição tais como, o pó-de-carvão e resquícios metálicos. Estes exercem reações físico-químicas no material levando a um aumento de ar incorporado durante os ensaios realizados no estado fresco e a possíveis microfissuras na interface pasta agregado ao longo do processo de hidratação do cimento, tendo como consequência a perda acentuada de resistência. Os resultados deste estudo tangenciam aos apresentados por Rocha et al, (2011) [13]. Ele menciona que a presença de areia de fundição implicou uma reduzida queda de resistência mecânica nas amostras, entretanto as mesmas apresentaram valores importantes, consideráveis para a viabilidade da areia de fundição como material componente do concreto.

Todavia, a necessidade de estudos mais aprofundados para avaliar a durabilidade do material faz-se necessário, haja visto que a maioria dos estudos já realizados sobre a utilização de areia de fundição em concreto, tenham mostrado resultados que a desfavorecem, quando a resistência a compressão axial é analisada. Em função dos resultados apresentados, e dos estudos já realizados sobre seu emprego em concretos, a areia de fundição mostra-se com mais uma alternativa de material na área da construção civil, porém toda amostra de areia deve ser previamente analisada através de ensaios, com o intuito de determinar os efeitos que a mesma apresentará, validando ou não sua utilização.

6. REFERÊNCIAS

- [1] ARMAGE, Luciana C. **Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa**, [2006]. Disponível <http://www.tede.udesc.br/tdebusca/arquivo.php?codArquivo=240>. Acesso em 12/06/2011.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado para concreto**: NBR 7211. Rio de janeiro, 1983.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**: NBR NM 67. Rio de janeiro, 1998.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e**



da curva tensão deformação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBR 8522. Rio de Janeiro, 2003.

- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos:** NBR 5739. Rio de Janeiro, 1994.

- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com Daphnia ssp (Cladocera, Crustacea):** NBR 12713, 2004 .

- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto:** NBR 5738. Rio de Janeiro, 1994.

- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos:** NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004.

- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos:** NBR 10006. Rio de Janeiro, 2004.

- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação:** NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

- [11] BRICHESI, Devanir. **Indústria de Fundição no Brasil.** Revista Guia ABIFA de Fundição. Editora: Vox, São Paulo, v. 133, Anuário 2011, p.24-25.

- [12] MARIOTO, C.L.; BONIN, A.L. **Tratamento dos descartes de areia.** Revista Fundição e matérias-primas, Editora: Vox, São Paulo, v. 12, 1996. P.28-32.



- [13] ROCHA, João P. de A.; LUZ, Caroline A. da; PERIUS, Gustavo; PEREIRA FILHO, José I.; CAMICIA, Rodrigo. **Utilização de areia de fundição em concreto auto-adensável.** (2011) p.13.
- [14] SILVA, Wilson R. L. da; TOCHETTO, Eduardo; PRUDÊNCIO JR, Luiz R.; OLIVEIRA, Alexandre L. de. **Influência do emprego de areia de fundição residual nas propriedades no estado fresco e no endurecido de misturas cimentícias.** (2010) p.12.
- [15] SILVA, Wilson R. L. da; TOCHETTO, Eduardo; PRUDÊNCIO JR, Luiz R.; OLIVEIRA, Alexandre L. de. **Influência do emprego de areia de fundição residual nas propriedades no estado fresco e no endurecido de misturas cimentícias.** Revista IBRACOM de Estruturas e Materiais. Editora: Ipsis, São Paulo, v. 4 Outubro (2011) p.653.