

UTILIZAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO NATURAL NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS MISTAS

Deyvid Ricardo Ramos Gonçalves¹
Nara Miranda de Oliveira Cangussu²

Resumo: Construir de forma sustentável ainda é um grande desafio e é certo que todos os setores precisam ser mais econômicos, racionais e produzir de forma a otimizar seus processos. Nesse sentido, o engajamento da sociedade é fundamental para que o poder público e privado se envolva, promovendo um equilíbrio na exploração, consumo dos recursos naturais e destinação correta dos resíduos sólidos, principalmente aqueles gerados em indústrias. A fim de buscar esse equilíbrio, o aproveitamento da areia de fundição encontra na Engenharia Civil uma possibilidade de utilização, atendendo às normatizações de descarte, bem como às exigências e melhorias sustentáveis vistas como prioridades pelos poderes públicos, privados e sociedade. O presente artigo, cujo objetivo é analisar a viabilidade técnica para utilização da areia de fundição na produção de argamassas mistas em substituição à areia lavada convencionalmente utilizada, apresentou resultados satisfatórios para os ensaios de tração na flexão e compressão, realizados em laboratório com porcentagens variando em 25, 50, 75 e 100% nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para esse resíduo (areia de fundição); sendo que a porcentagem ótima encontrada foi de 25% de substituição ao agregado miúdo natural, como será apresentado no decorrer deste trabalho.

96

Palavras-chave: construção, argamassas; sustentabilidade.

Abstract: Building sustainably is still a great challenge and it is certain that all sectors need to be more economical, rational and produce in order to optimize their processes. In this sense, the engagement of society is fundamental for public and private authorities to get involved, promoting a balance in the exploitation, consumption of natural resources and disposal of solid waste, especially those generated in industries. In order to seek this balance, the use of foundry sand finds in Civil Engineering a possibility of use, taking into account disposal standards, as well as the sustainable requirements and improvements seen as priorities by the powers public, private and society. This article, whose objective is to analyze the technical feasibility for the use of casting sand in the production of mixed mortars in place of conventionally used washed sand, presented satisfactory results for tensile tests in the flexion and compression, performed in laboratory with percentages ranging in 25, 50, 75 and 100% at the ages of 7, 14, 21 and 28 days for this residue (casting sand); and the optimum percentage found was 25% replacement to the natural kid household, as will be presented in the course of this work.

Keywords: construction, mortars; sustainability.

¹ Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade Santo Agostinho. Email: deyvrid.ricardo@yahoo.com.br

² Professora do curso de Engenharia Civil da Faculdade Santo Agostinho

Recebido em 20/02/2020

Aprovado em 10/03/2020

1. INTRODUÇÃO

Agregado é um material granular utilizado em um meio cimentício para a produção de argamassa ou concreto. A qualidade do agregado para a confecção de uma argamassa ou concreto é fundamental, pois influencia na resistência, durabilidade e desempenho estrutural do conjunto. Além disso, é muito importante do ponto de vista econômico, devido ao seu reduzido custo em relação ao cimento, e também do ponto de vista técnico, ao conferir maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura (METHA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Peixoto *et al.* (2007), no tocante à conscientização ambiental, busca-se alternativas de substituição dos agregados naturais comumente utilizados, como solução para as empresas adequarem seus processos produtivos. Sendo assim, a utilização da areia de fundição apresenta-se como uma possível alternativa na construção civil, evitando que milhares de toneladas sejam enviadas para aterros e, conseqüentemente, haja uma menor extração do agregado natural.

Vários pesquisadores têm estudado sobre a areia de fundição nos últimos anos. Alguns dos trabalhos citados a seguir mostram que a areia de fundição serviu como estudos para: utilização do agregado para composição asfáltica (BAKIS *et al.*, 2006); Naik *et al.* (2003, 2004), Fiore e Zanetti (2007), Siddique *et al.* (2007, 2009), em artefatos de concreto e relacionados ao concreto; Siddique e Noumowe (2008), em camadas e subcamadas de rodovias; Guney, Aydilek e Demirkan (2006), Naga e El-Maghraby (2003), Raupp-Pereira *et al.* (2006), Quaranta *et al.* (2004), em materiais cerâmicos e no processo de fabricação de azulejos; Seung-Whee e Woo-Keun (2006) e em misturas de gesso Korac *et al.* (2006).

Segundo Guney, Aydilek e Demirkan (2006), mesmo existindo grande variedade para utilização da areia de fundição, o material não é comumente utilizado. Sendo assim, a utilização desse resíduo em substituição a areia lavada em argamassas, especialmente no que diz respeito ao grau de substituição ótimo apresenta-se de forma relevante para o artigo em questão.

A areia de fundição, também conhecida como areia verde, é subproduto da indústria de fundição, que na maioria das vezes utiliza areia de sílica para fabricação dos moldes, conhecidos como “machos” na fabricação de artefatos metálicos. Para fabricação dos artefatos, é derramada dentro dos moldes de areia, uma quantidade de metal líquido, com temperatura em torno dos 1.500 °C para a fabricação de peças de metal fundido ou outras ligas metálicas, completando o molde e formando a peça desejada. Durante esse processo, a areia é reciclada e reutilizada

várias vezes, até o ponto em que a mesma fica inservível para o processo de fundição. Após esse processo, a mesma é descartada e passa a se chamar “rejeito de areia de fundição” (SIDDIQUE; SINGH, 2007).

A areia verde é composta de areia de sílica de alta qualidade (85-95%), que resiste a altas temperaturas; argila de bentonita (4-10%) - usada como aglutinante; aditivo carbonoso (2-10%) - adicionado para melhorar o acabamento da superfície de fundição; água (2-5%) - para ajustar a plasticidade. A areia verde tem um teor de argila que resulta em porcentagem de material que passa a 75 µm na peneira de nº 200 para agregado graúdo e aderem juntos devido à argila e água. Devido ao teor de carbono, apresenta uma coloração escura (MONOSI; SANI; TITTARELLI, 2010).

A areia de moldagem de cura a frio (quimicamente ligada) consiste em areia de sílica e ligante químico que é ativado por um catalisador. Geralmente, areias quimicamente ligadas são 93–99% de sílica e 1–3% pasta química. Existem vários tipos de ligantes químicos utilizados na indústria de fundição. A maioria consiste em orgânicos, como resinas epóxi e álcool furfurílico, embora alguns utilizem ligantes inorgânicos como silicatos de sódio. Geralmente, eles são usados para suportar o calor do metal fundido, mas também na fabricação de moldes. Areia de sílica é completamente misturada com os produtos químicos; um catalisador inicia a reação que cura e endurece a massa (NAIK *et al.*, 2003). Essa areia apresenta uma coloração mais clara, representando a areia de cura a frio para fabricação dos moldes de fundição.

Ainda segundo Naik *et al.*, (2003), a areia quimicamente ligada é tipicamente de cor bronzeada ou esbranquiçada e a areia de fundição usada é geralmente de forma sub-angular para arredondada. A distribuição do tamanho de grão é uniforme: 85-95% do material variando entre 0,6 e 0,15 mm; 5 a 12% podem ser menores que 75 µm.

Este trabalho consiste em utilizar o resíduo da areia de fundição para fabricação de argamassas mistas. Essas argamassas podem ser utilizadas para diversas finalidades, contudo, deve ser comprovado se suas propriedades atendem aos ensaios aos quais a mesma será submetida. Toda a metodologia e resultados serão apresentados a seguir.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização do agregado miúdo

O ensaio de granulometria foi realizado de acordo com as normas de Determinação da Composição Granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003) e da NBR 7211 (ABNT, 2009). A determinação do Módulo de Finura (MF) bem como os ensaios de Massa Específica e Massa Específica Aparente NM 52 (ABNT, 2009), Massa Unitária NBR NM 45 (ABNT, 2006), foram

realizados após a análise granulométrica do material para em seguida iniciar a dosagem da argamassa a ser fabricada.

Foi realizada a análise química da areia de fundição a fim de encontrar a concentração e os elementos presentes no agregado, contudo o ensaio foi realizado por uma empresa terceirizada.

2.2 Aglomerantes

Os aglomerantes para a fabricação da argamassa foram a cal hidratada e o cimento *Portland* CP IV - 32 - Montes Claros.

2.3 Água

A água a ser utilizada será água potável de abastecimento público da cidade de Montes Claros – MG.

2.4 Dosagem

Para determinação do traço da argamassa foi definido um traço de uso geral para argamassas mistas, pois, diferentemente do que ocorre no concreto, as argamassas não dispõem de métodos consagrados para tal finalidade.

O traço utilizado foi o traço com relação (cimento:cal:areia) de 1:2:9, respectivamente. A relação água/cimento adotada de forma arbitrária foi de 0,5 e a substituição da areia lavada pela areia de fundição ocorrerá proporcionalmente nas frações, variando em 25%.

2.5 Moldagem e cura

Três corpos de prova foram moldados para cada idade de ruptura, a moldagem dos corpos de prova é feita com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com o soquete, homogeneamente distribuídos. Deve-se terminar rasando a superfície dos corpos de prova.

Os moldes serão devidamente preparados, conforme especificações da NBR 5738 (ABNT, 2016) que trata dos procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Após 24 horas da preparação da argamassa serão feitas as desformas. A cura dos corpos de prova será realizada ao ar. Os corpos de prova, retirados da cura, foram submetidos aos ensaios de tração na flexão e compressão axial.

2.6 Ensaios

A resistência à compressão foi realizada de acordo com a norma brasileira NBR 13279 (ABNT, 2005) em uma máquina universal de ensaios no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade Santo Agostinho unidade de Montes Claros - MG, sendo que a

velocidade do ensaio foi de 1 mm/min. Em seguida, foram avaliados os resultados através dos dados obtidos e tabulados em planilhas e gráficos gerados pelo software Excel® da Microsoft, versão estudante. Nos resultados de tração na flexão e compressão foram utilizados 3 corpos de prova para cada idade (7, 14, 21 e 38 dias), com 3 corpos de provas para cada quantidade de substituição a ser analisada, em um total de 60 corpos de prova.

2.7 Ensaios de tração na flexão e compressão

Normatizados pela NBR 13279 (ABNT, 2005), quanto à resistência mecânica das argamassas mistas, esta propriedade está relacionada à capacidade em suportarem as ações mecânicas de diferentes naturezas (GUNEY *et al.* 2006). Sabe-se que a argamassa de assentamento deve adquirir rapidamente alguma resistência, permitindo o assentamento de várias fiadas no mesmo dia, bem como desenvolver resistência adequada ao longo do tempo. Apesar disso, não são necessárias resistências altas das argamassas para garantir o bom desempenho das paredes; pelo contrário, a resistência da argamassa não deve ser nunca superior a resistência dos blocos. Isso ocorre porque a argamassa exerce pouca influência na resistência à compressão da alvenaria, comportamento explicado pelo estado multiaxial de tensões ao qual a junta de argamassa está submetida, devido à restrição de deformações laterais que os blocos impõem à junta (KORAC *et al.*, 2006). Seguindo os parâmetros normativos da NBR 13279 (ABNT, 2005), encontraram-se os valores em MPa através da Equação 1.

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad (1)$$

Onde:

R_f = é a resistência à tração na flexão, em megapascals;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons; L = é a distância entre os suportes, em milímetros.

Para chegar aos valores de resistência a compressão, foi utilizado a Equação 2, presente na NBR 13279 (ABNT, 2005).

$$R_c = F_c / 1600 \quad (2)$$

Onde:

R_c = é a resistência à compressão, em megapascals; F_c = é a resistência à compressão, em megapascals; F_c = é a carga máxima aplicada, em newtons;

1600 = é a área da seção quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do agregado miúdo

No ensaio de granulometria, foi realizado o ensaio da areia lavada e da areia de fundição e em ambos, o agregado miúdo foi caracterizado como areia muito fina. No agregado natural, o módulo de finura (MF) foi de 2,84 mm, a dimensão máxima característica (DMC) de 1,2 mm, resultado este que está dentro do padrão convencional. A Tabela 1, bem como a Figura 1, apresentam os resultados encontrados para o agregado natural.

Tabela 1- Análise granulométrica – amostra da areia lava

Peneira (mm)	Massa (g)	Retida %	Acumulada %
76	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00
9,50	0,00	0,00	0,00
4,80	0,00	0,00	0,00
2,40	2,40	0,24	0,24
1,20	8,58	0,86	1,10
0,60	55,16	5,52	6,62
0,30	708,00	70,82	77,43
0,15	210,64	21,07	98,50
Fundo	15,00	1,50	100,00
Total	999,781	100,00	283,88

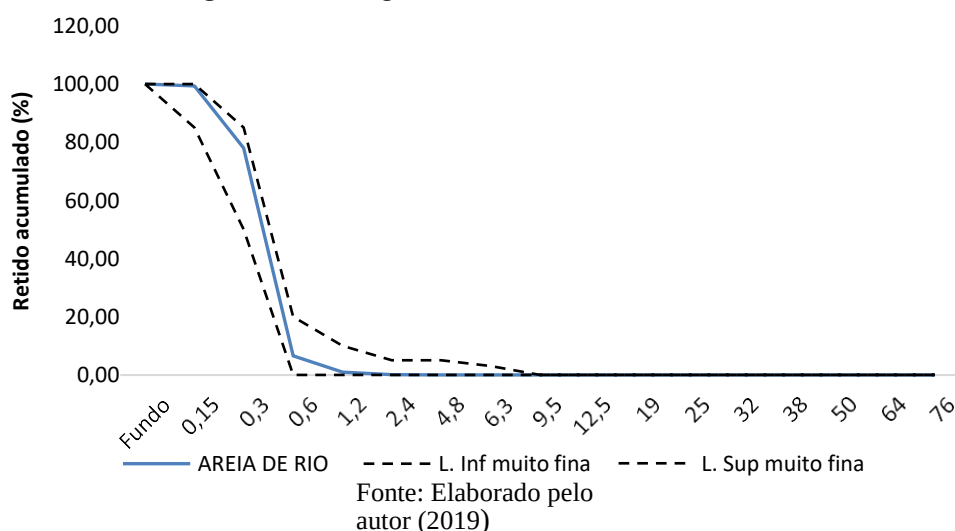
GRANULOMETRIA AREIA DE RIO NATURAL

Módulo de Finura 2,84

Dimensão Máxima 1,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 1- Análise granulométrica – amostra da areia lavada



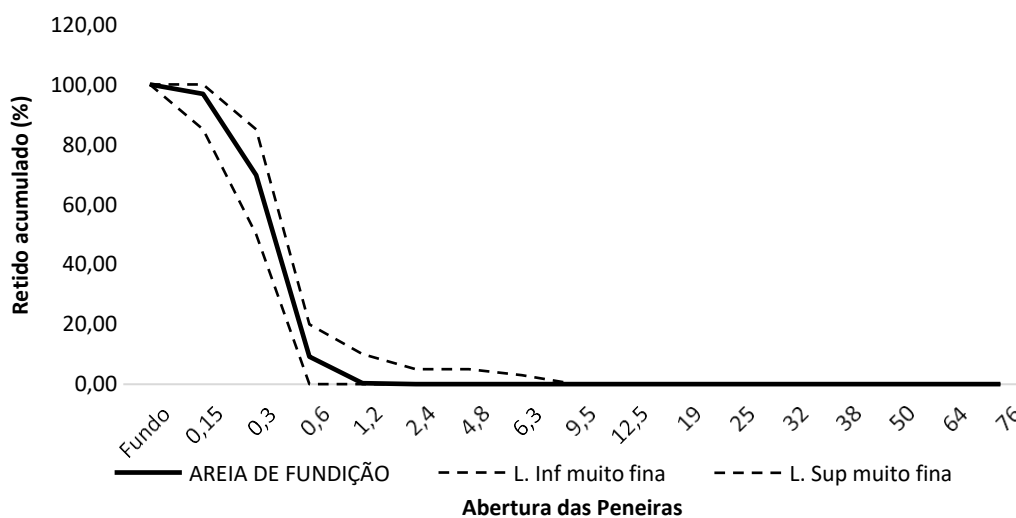
Abertura das Peneiras

Tabela 2- Análise granulométrica – amostra da areia de fundição

GRANULOMETRIA			
AREIA DE FUNDIÇÃO			
Peneira (mm)	Massa (g)	Retida %	Acumulada %
76	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00
9,50	0,00	0,00	0,00
4,80	0,00	0,00	0,00
2,40	0,00	0,00	0,00
1,20	3,30	0,33	0,33
0,60	87,00	8,71	9,04
0,30	593,00	59,36	68,39
0,15	265,75	26,60	95,00
Fundo	50,00	5,00	100,00
Total	999,05	100,00	272,76
Módulo de Finura			2,73
Dimensão Máxima			1,2

De forma análoga foram gerados os resultados do ensaio da areia de fundição, como se pode observar na Tabela 2 e Figura 2. **Fonte:** Próprio autor (2019)

Figura 2- Análise granulométrica – amostra da areia de fundição



Fonte: Próprio autor (2019)

Como se pode observar os dois resultados foram semelhantes, no caso o valor do módulo de finura (MF) foi de 2,73 mm, a dimensão máxima característica (DMC) de 1,2 mm, resultados que demonstram a compatibilidade das areias quanto a sua análise física.

Sobre a análise química, o mesmo foi realizado por meio de uma parceira (empresa siderúrgica) que enviou os dados com a composição química da areia de fundição e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Composição química – amostra da areia de fundição

COMPONENTE	CONCENTRAÇÃO (%)
Sílica (SiO ₂)	97,714
Ferro (Fe ₂ O ₃)	1,334
Alumínio (Al ₂ O ₃)	0,455
Cálcio (CaO)	0,209
Titânio (Ti)	0,119
Magnésio (MgO)	0,085
Fósforo (P)	0,019
Manganês (Mn ₂ O ₃)	0,0059
Bário (Ba)	0,0046
Cromo (Cr)	0,0033
Zinco (Zn)	0,0024
Cobre (Cu)	0,0022
Vanádio (V)*	0,0016
Lantânio (La)*	0,0010
Boro (B)	0,0010
Níquel (Ni)	0,00093
Chumbo (Pb)	0,00039
Arsênio (As)	0,00036

Fonte: Próprio autor (2019)

*Vanádio (V) – utilizado como catalisador;

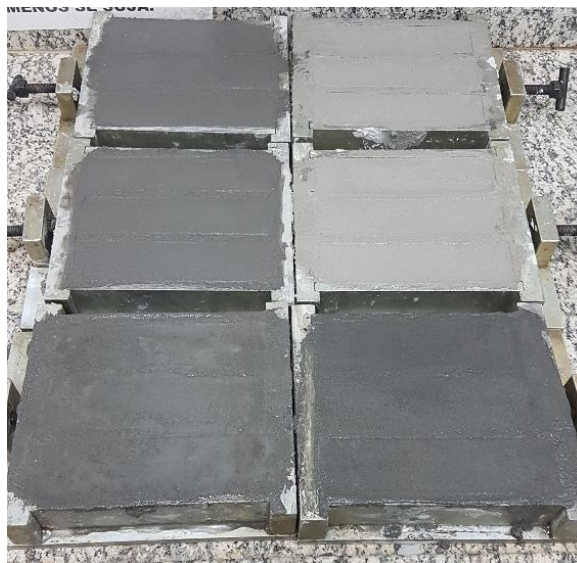
*Lantânio (La) – tem a maior densidade da tabela periódica e é o metal mais resistente a corrosão.

Quanto ao resultado da análise química, percebe-se que, apesar de existir alguns elementos incomuns, como o Vanádio e o Lantânio, a maior parte da composição é de Sílica e os demais materiais com concentrações mínimas, fazendo com que a resistência das argamassas não seja afetada por tais concentrações.

3.2 Moldagem e cura

Como resultado da moldagem e cura, a Figura 3 apresenta os corpos de prova com dimensões 4x4x16 cm, moldados em laboratório.

Figura 3. Corpos de prova moldados



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Em cada forma contém 3 corpos de prova (CP's), a cor mais clara é em função da coloração da areia lavada e, à medida que foram adicionadas maiores porcentagens de areia de fundição, os CP's foram ficando com uma tonalidade mais escura devido à cor da areia de fundição.

Quanto à plasticidade, não foi percebido alterações significativas nos CP's, entretanto, os corpos de prova que foram moldados com a areia de fundição apresentaram uma aderência melhor, ficando com uma aparência de material mais adensado e consistente.

Após passadas as 24 horas, os mesmos foram desformados e colocados para cura ao ar, conforme definido na sessão de materiais e métodos.

3.4 Ensaio de tração na flexão e compressão

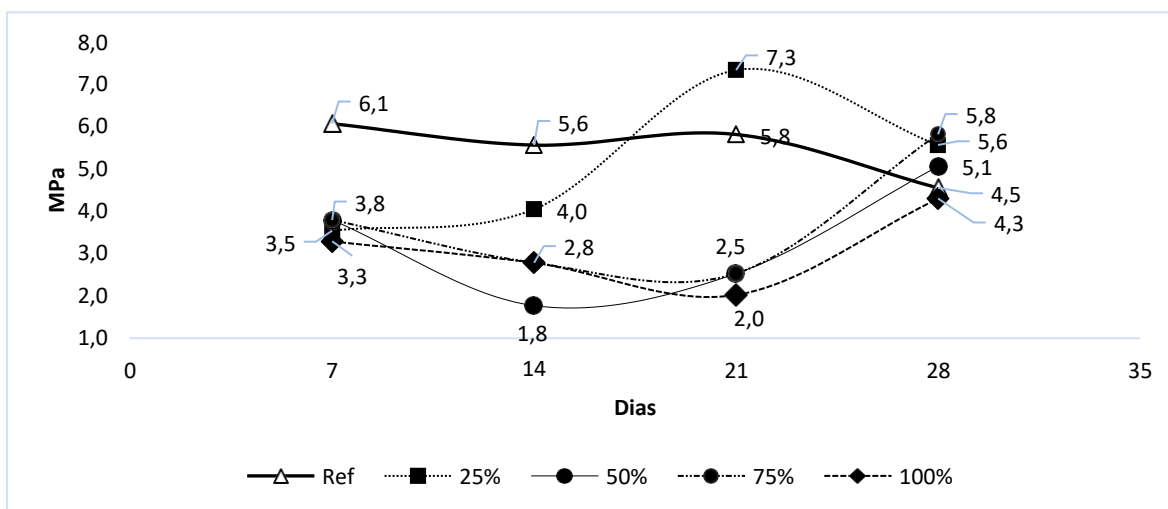
Seguindo os parâmetros normativos da NBR 13279 (ABNT, 2005), foi realizado os ensaios no laboratório da Faculdades Santo Agostinho, unidade de Montes Claros – MG, o resultado foi obtido através da média entre os três valores medidos, como pode ser observado na Tabela 4 e Figura 3 (ensaio de tração na flexão) e Tabela 5 e Figura 4 (ensaio de compressão).

Tabela 4 - Ensaio de tração na flexão

Idade/Substituição	Tração na Flexão (Mpa)				
	0%	25%	50%	75%	100%
7	6,1	3,5	3,8	3,8	3,3
14	5,6	4,0	1,8	2,8	2,8
21	5,8	7,3	2,5	2,5	2,0
28	4,5	5,6	5,1	5,8	4,3

Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 4 - Ensaio de tração na flexão



Fonte: Próprio autor (2019)

Como se pode observar na Tabela 4 e em sua representação no Figura 4, aos 21 dias, o traço com 25% de areia de fundição tem um elevado ganho de resistência chegando aos 7,3 MPa, superando inclusive o traço de referência que ficou com 5,8 MPa.

Embora todos os valores ficaram superiores a 1,5 MPa, exigido para os padrões de argamassa, não foram obtidos resultados uniformes, que podem ser explicados a partir de mais ensaios.

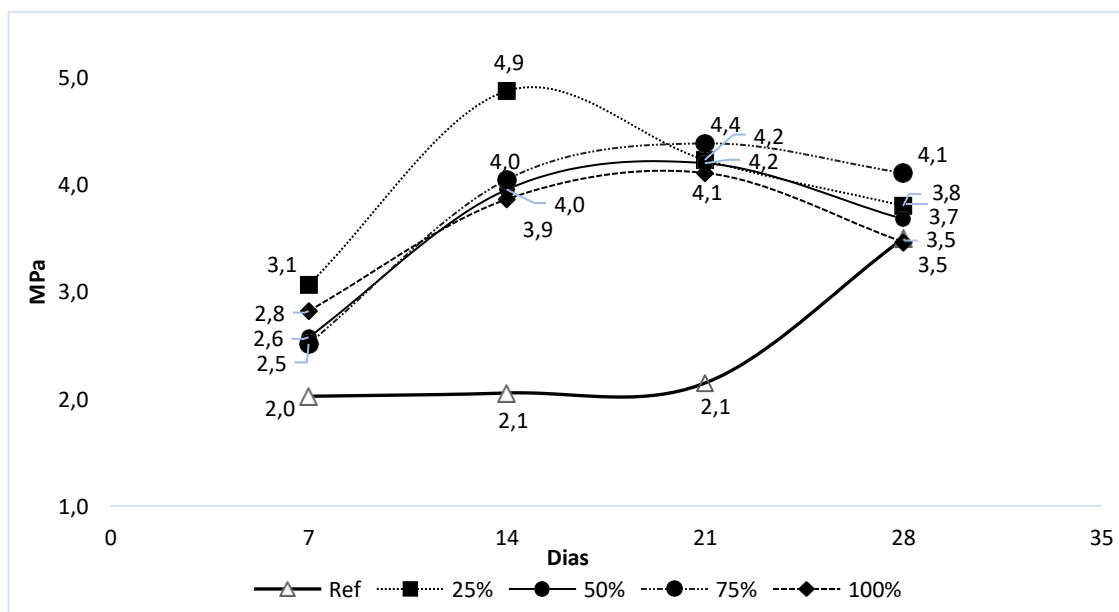
O ensaio de compressão está representado na Tabela 5 e na Figura 5.

Tabela 5- Ensaio de compressão

Idade/Substituição	Compressão (MPa)				
	0%	25%	50%	75%	100%
7	2,0	3,1	2,6	2,5	2,8
14	2,1	4,9	4,0	4,0	3,9
21	2,1	4,2	4,2	4,4	4,1
28	3,5	3,8	3,7	4,1	3,5

Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 5 - Ensaio de compressão



Fonte: Próprio autor (2019)

Os resultados apresentados na Tabela 5, e em sua representação no Figura 5, todos os valores superaram o traço referência (0%) a partir da primeira idade de sete dias. Vale destacar que novamente a substituição com a dosagem de 25% de areia de fundição suportou os maiores valores de compressão.

Os resultados do ensaio de compressão apresentaram valores consistentes e demonstram que houve aumento na resistência à compressão para misturas de concreto incorporando areia de fundição, mostrando que o resíduo da indústria de fundição tem potencial para ser utilizado como um substituto parcial do agregado miúdo fino na fabricação de concretos.

4. CONCLUSÃO

Pode-se observar que a areia de fundição tem sido objeto de estudo em diversas aplicações e sua utilização pode ser aplicada, contudo deve-se ter cuidado com o material pois o mesmo pode ter diversos componentes que podem interferir nas características e aplicações na construção civil.

Neste artigo resultados positivos foram obtidos para a aplicação em 25% da areia de fundição como agregado miúdo na fabricação de argamassas. Relacionando esse resultado com a questão econômica, o mesmo reduz os custos com areia lavada na obra, uma vez que este material está disponível para descarte em grande quantidade nos pátios das empresas de fundição.

O ganho econômico não seria retratado apenas do canteiro de obras, mas também nos custos evitados para destinar esse material para aterros, sejam eles próprios ou de terceiros. Entretanto deve-se haver um estudo mais aprofundado sobre o tema pois os custos de transporte, testes químicos e ambientais, não foram levados em consideração neste estudo.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**. Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – Especificação. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAKIS, R.; KOYUNCU, H.; DEMIRBAS, A. 2006. **An investigation of waste foundry sand in asphalt concrete mixtures**. Waste Management Research 24, 269–274.

FIORE, S.; ZANETTI, M.C., 2007. Foundry wastes reuse and recycling in concrete production. **American Journal of Environmental Sciences** 3, 135–142.

GUNEY, Y.; AYDILEK, A.H.; DEMIRKAN, M., 2006. Geoenvironmental behavior of foundry sand amended mixtures for highway subbases. Waste Management 26, 932– 945.

KORAC, M.; GAVRILOVSKI, M.; KAMBEROVIC, Z.; ILIC, I. 2006. Possibility of used foundry sand exploitation in civil engineering. **Acta Metallurgica Slovaca** 12, 203– 207.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.

MONOSI, S.; SANI D.; TITTARELLI, F. 2010. Used foundry sand in cement mortars and concrete production. **The Open Waste Management Journal**, 3, 18-25.

NAGA, S.M.; EL-MAGHRABY, A. 2003. Industrial waste as raw materials for tile making. **Silicates Industrials** 68, 89–92.

NAIK, T.R.; KRAUS, R.N.; CHUN, Y.M.; RAMME, W.B., Singh, S.S., 2003. Properties of field manufactured cast-concrete products utilizing recycled materials. **Journals of Materials in Civil Engineering** 15 (4), 400–407.

NAIK, T.R.; KRAUS, R.N.; CHUN, Y.M.; RAMME, W.B.; SIDDIQUE, R. 2004. Precast concrete products using industrial by-products. **ACI Materials Journal** 101 (3), 199–206.

PEIXOTO, R. A. F.; PADULA, F. R. G; FRANÇA, M. B. B.; KAMADA, C. E. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para a utilização de escória de aciaria na fabricação de argamassa para alvenaria.** Congresso Construção. Universidade de Coimbra. Coimbra 2007.

QUARANTA, N.; CALIGARIS, M.; LÓPEZ, H.; UNSEN, M.; PASQUINI, J.; LALLA, N.; BOCCACCINI, A.R. 2004. Recycling of foundry sand residuals as aggregates in ceramic formulations for construction materials. **Key Engineering Materials** 264–268, 1743–1746.

RAUPP-PEREIRAA, F.; HOTZAB, D.; SEGADÃESA, A.M.; LABRINCHA, J. A. 2006. Ceramic formulations prepared with industrial wastes and natural sub-products. **Ceramics International** 32, 173–179.

SEUNG-WHEE, R.; WOO-KEUN, L. 2006. Characteristics of spent foundry sand–loess mixture as ceramic support materials. **Materials Science Forum** 510-11, 378– 381.

SIDDIQUE, R.; GUPTA, R.; KAUR, I. 2007. **Effect of spent foundry sand as partial replacement of fine aggregate on the properties of concrete.** In: 22nd International Conference on Solid Waste Technology and Management Widener University, Philadelphia, USA.

SIDDIQUE, R.; NOUMOWE, A. 2008. **Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete.** Resources, Conservation and Recycling 53, 27–35.

SIDDIQUE, R.; SCHUTTER, G.; NOUMOWE, A. 2009. Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete. **Construction Building Materials** 23, 976–980.