REUTILIZAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO EM ARGAMASSAS

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081136

MARAN, ANA PAULA[1]; MENNA BARRETO, MARIA FERNANDA[2]; MASUERO, ANGELA BORGES[2]; DAL MOLIN, DENISE CARPENA COITINHO[2]
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM), CAMPUS CACHOEIRA DO SUL; [2]PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: CONSTRUÇÃO E INFRAESTRUTURA (PPGCI), UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS).
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: MFMENNABARRETO@GMAIL.COM

RESUMO: A areia de fundição é um resíduo sólido proveniente da indústria metalúrgica e é gerada a partir da etapa de desmoldagem de peças metálicas. O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação do resíduo dessa areia como agregado miúdo em argamassas. A substituição da areia natural pelo resíduo resultou em doze traços de argamassas. Foram realizados ensaios de consistência, densidade de massa aparente, absorção de água por capilaridade e resistência à compressão. Os ensaios mostraram que a areia de fundição pode ser utilizada como substituição parcial da areia natural, ponderando a influência do módulo de finura do resíduo nas propriedades finais da argamassa.

PALAVRAS-CHAVES: Areia de fundição; resíduos; argamassa.

ABSTRACT: Foundry sand is a solid residue from the metallurgical industry and is generated from the unmold stage of metal parts. The objective of this study is to evaluate the incorporation of this sand residue as a fine aggregate in mortars. The substitution of natural sand for the residue resulted in twelve mortar traces. Tests of consistency, mass density, water absorption by capillarity and compression resistance were carried out. The tests showed that the foundry sand can be used as a partial replacement of natural sand by considering the influence of the residue fineness modulus on the mortar final properties.

KEYWORDS: Foundry sand; residue; mortar.

1 | INTRODUÇÃO

A produção de fundidos de ferro no Brasil é cada ano mais crescente(1), estima-se que mais de 80% dos fundidos são fabricados pelo método que utiliza moldes de areia aglomerada(2), devido a versatilidade e economia. Porém, um dos principais aspectos ambientais dentro da indústria é a geração de resíduos sólidos provenientes deste processo de moldagem, resultando em, aproximadamente, 22% de resíduo de areia de fundição(3). O descarte da areia de fundição em aterros contribui para problemas ambientais(4), pois quando o material é exposto a intempéries, pode ocorrer a contaminação do solo e lençóis freáticos, devido à dissolução de resinas fenólicas, metais e não metais degradantes.

Há orientação para a indústria de fundição buscar alternativas para atender às exigências ambientais com relação a este tipo de resíduo, como aprimorar processos produtivos visando diminuir o volume de descarte, desenvolver processos de regeneração das areias usadas para reutilização no próprio processo de fundição, desenvolver novos ligantes e processos de moldagem como forma de reduzir a carga poluente, determinar o impacto ambiental das areias descartadas e, por fim, estudar formas alternativas para o uso deste resíduo[1].

Perante o alto volume de produção e rejeite de resíduos, é notória a preocupação com a reutilização da areia de fundição descartada para a aplicação na construção civil, como forma de amenizar o impacto ambiental. Além disso, esses resíduos são classificados, segunda a NBR 10004[5], como não perigosos, Classe II, apresentando potencial para outras aplicações. Esse resíduo pode ser aplicado em argamassas e concretos [6-8], blocos, pavimentos e pisos de concreto[9-11] e tijolos[12].

Dado o exposto, o presente trabalho buscou incorporar o resíduo areia de fundição na fabricação de argamassas tradicionais de revestimentos, através da substituição de diferentes proporções da areia natural pelo resíduo. Para isso, caracterizou-se os materiais constituintes e avaliou-se as principais características físicas e mecânicas das argamassas produzidas.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados cimento CP IV–32, areia natural do Guaíba (Porto Alegre/RS) e areia de moldagem de fundição proveniente da região noroeste do Rio Grande do Sul para a produção das argamassas.

A estrutura cristalina da areia de fundição foi constatada a partir de ensaios de Difração de Raio-X (DRX) em equipamento *Philips X'Pert MPD Tubo,* no qual fica evidente a insuficiente quantidade de parcela amorfa, bem como elevada cristalinidade do material (Figura 1), justificando seu uso como substituição do agregado.

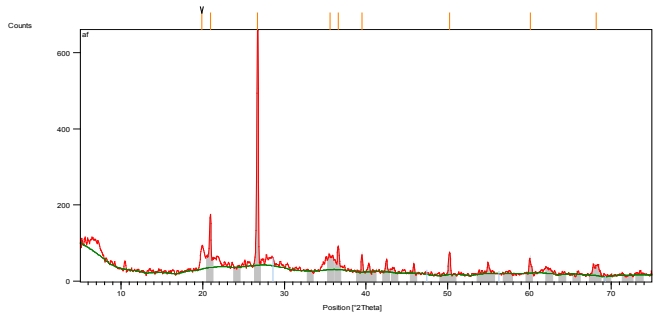


Figura 1 - Caracterização do resíduo de areia de fundição por Difração de raio-x

Fonte: Autores.

A distribuição granulométrica dos agregados foi determinada de acordo com a NBR NM 248[13], obtendo-se módulo de finura de 2,32, dimensão máxima característica de 4,75mm e distribuição contínua para a areia natural, e 1,37 de módulo de finura, 600 µm de dimensão máxima e distribuição granulométrica uniforme para areia de fundição. A massa unitária dos materiais também foi ensaiada, através do Método C da NBR NM 45[14], encontrando-se 0,87kg/dm³ para o cimento, 1,35kg/dm³ para areia natural, e 1,28kg/dm³ para areia de fundição.

A produção das argamassas foi realizada a partir da definição de três traços em volume usualmente utilizados em obra (1:1,5, 1:3 e 1:4,5), nos quais substituiu-se a areia natural pela areia de fundição em diferentes proporções, como mostra a Tabela 1. Para a definição da relação água/cimento, fixou-se a consistência em 26±1 cm.

Para caracterização das argamassas e análise da substituição do resíduo de areia de fundição, foram realizados os ensaios de determinação do índice de consistência[15], densidade de massa aparente no estado endurecido[16], absorção de água por capilaridade[17] e resistência à compressão[18].

3 | RESULTADOS

3.1 Relação água/cimento

A determinação da relação água/cimento se deu em função da consistência pré-fixada. Quanto maior a substituição da areia natural pela areia de fundição e quanto maior a quantidade de agregado no traço, maior foi a quantidade de água necessária para se atingir a consistência estabelecida, logo maior a relação água/cimento (Tabela 1).

TRAÇO	Substituição	TRAÇOS EM VOLUME			CONSISTÊNCIA (cm)	RELAÇÃO A/C
		Cimento	Areia natural	Areia fundição		
1:1,5	0	1,00	1,50	0,00	25,50	0,426
	1/3	1,00	1,00	0,50	25,80	0,551
	2/3	1,00	0,50	1,00	25,80	0,720
	3/3	1,00	0,00	1,50	26,00	1,164
1:3,0	0	1,00	3,00	0,00	26,80	0,811
	1/3	1,00	2,00	1,00	26,00	0,996
	2/3	1,00	1,00	2,00	25,00	1,104
	3/3	1,00	0,00	3,00	25,83	1,402

1:4,5	**0**	1,00	4,50	0,00	26,17	1,205
	1/3	1,00	3,00	1,50	25,93	1,294
	2/3	1,00	1,50	3,00	25,00	1,580
	3/3	1,00	0,00	4,50	25,43	1,843

Tabela 1 – Traços, consistências e relações água/cimento
Fonte: Autores.

Esse comportamento era esperado, uma vez que a areia de fundição é mais fina que a areia natural, demandando assim uma maior quantidade de água para molhagem completa das suas partículas.

3.2 Densidade de massa aparente no estado endurecido

Os dados obtidos no ensaio de densidade de massa aparente foram submetidos à uma análise de variância (Tabela 2), na qual se constatou que existem diferenças significativas entre os traços, entre as substituições e na relação entre ambos.

Fonte	Soma quadrada (SQ)	Grau de liberdade (GDL)	Média quadrada (MQ)	Teste F	Probabilidade	Comentário
Traço	0,0923	2	0,0461	40,2	0,000000	Significativo
Substituição	0,2586	3	0,0862	75,1	0,000000	Significativo
Traço*Substituição	0,0497	6	0,0083	7,2	0,000042	Significativo
Erro	0,0413	36	0,0011			

Tabela 2 - Análise de variância (ANOVA) da densidade de massa
Fonte: Autores.

Ao analisar as substituições, percebe-se que quanto maior a quantidade de areia de fundição, menor a densidade da argamassa (Figura 2). Isso se deve à troca de um material mais pesado (areia natural), por outro um pouco mais leve (areia de fundição). Somado a isso, quanto maior a substituição, maior a quantidade de água demandada, que é mais leve do que o agregado e deixa maiores vazios, tornando a argamassa menos densa.

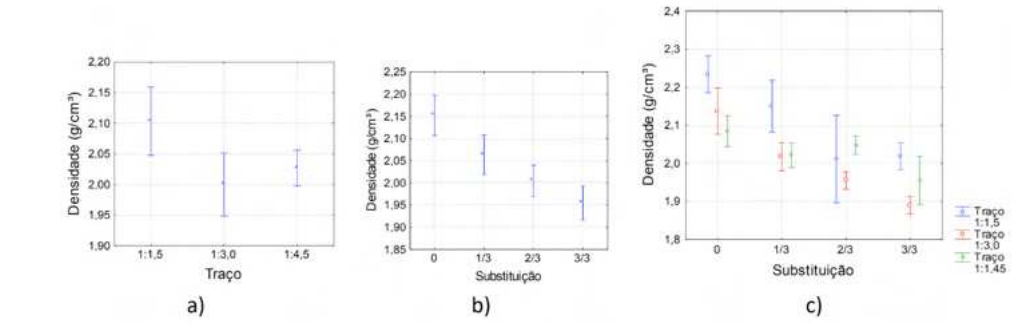


Figura 2 - Comparação da densidade de massa aparente: a) entre os traços avaliados; b) entre as substituições; c) traços *versus* substituição

Fonte: Autores.

3.3 Absorção de água por capilaridade

Os dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade foram submetidos à uma análise de variância (Tabela 3), na qual se constatou que existem diferenças significativas entre os traços, entre as substituições, entre o tempo de ensaio e em toda relação entre os fatores controlados.

Fonte	Soma quadrada (SQ)	Grau de liberdade (GDL)	Média quadrada (MQ)	Teste F	Probabilidade	Comentário
Traço	1,53005	2	0,76502	322,653	0,000000	Significativo
Substituição	0,50981	3	0,16994	71,672	0,000000	Significativo
Tempo	1,15227	4	0,28807	121,494	0,000000	Significativo
Traço*Substituição	0,32336	6	0,05389	22,730	0,000000	Significativo
Traço*Tempo	0,16142	8	0,02018	8,510	0,000000	Significativo
Substituição*Tempo	0,12717	12	0,01060	4,470	0,000007	Significativo
Traço*Substituição*Tempo	0,10239	24	0,00427	1,799	0,020736	Significativo
Erro	0,28453	120	0,00237			

Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) da absorção de água por capilaridade

Fonte: Autores.

De modo geral, o traço de argamassa que absorveu menos foi o 1:1,5, seguido do 1:4,5 e do 1:3,0 (Figura 3a), esse comportamento pode ser explicado a partir do ensaios de densidade (Figura 2a), de modo que quanto mais densa, menor a absorção. Dentre as proporções de resíduo avaliadas, a ordem crescente de absorção de água ocorreu com a argamassa de substituição 0, seguida das argamassa com substituição 3/3, 1/3 e 2/3 (Figura 3b). As argamassas com 3/3 de substituição apresentaram um comportamento imprevisto, uma vez que se esperava que elas absorvessem uma maior quantidade de água dada a maior demanda de água no traço e a menor densidade

(mais vazios), porém elas mostraram um desempenho semelhante às argamassas com 0 de substituição. Uma explicação para esse comportamento é existência de vazios de maiores diâmetros não conectados uns aos outros, o que diminuiu a absorção por capilaridade (Figura 3c).

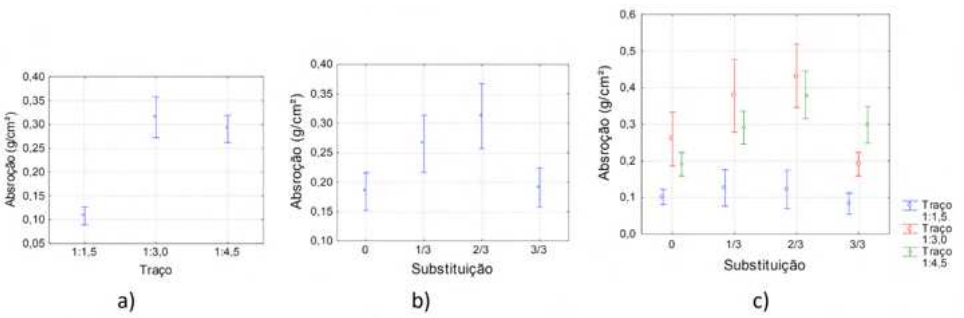


Figura 3 - Comparação da absorção por capilaridade: a) entre os traços avaliados; b) entre as substituições; c) traço *versus* substituição

Fonte: Autores.

3.4 Resistência à compressão

Os dados obtidos no ensaio de resistência à compressão foram submetidos à uma análise de variância (Tabela 4), na qual se constatou que existem diferenças significativas entre os traços, entre as substituições e na relação entre ambos.

Fonte	Soma quadrada (SQ)	Grau de liberdade (GDL)	Média quadrada (MQ)	Teste F	Probabilidade	**Comentário**
Traço	1097,506	2	548,753	1061,155	0,00	Significativo
Substituição	1411,148	3	470,383	909,606	0,00	Significativo
Traço*Substituição	1010,829	6	168,471	325,783	0,00	Significativo
Erro	18,099	35	0,517			

Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) da resistência à compressão

Fonte: Autores.

Conforme análise estatística realizada, o traço que apresentou o melhor desempenho mecânico foi o traço 1:1,5, seguido do traço 1:3,0 e do traço 1:4,5 (Figura 4a). Esse comportamento já era esperado, uma vez que a proporção de cimento é maior no traço 1:1,5 comparativamente aos demais traços, assim como a proporção de cimento no traço 1:3,0 é maior do que o traço 1:4,5.

Quando comparado as substituições, quanto maior a substituição de areia natural pela areia de fundição, menor a resistência mecânica (Figura 4b).

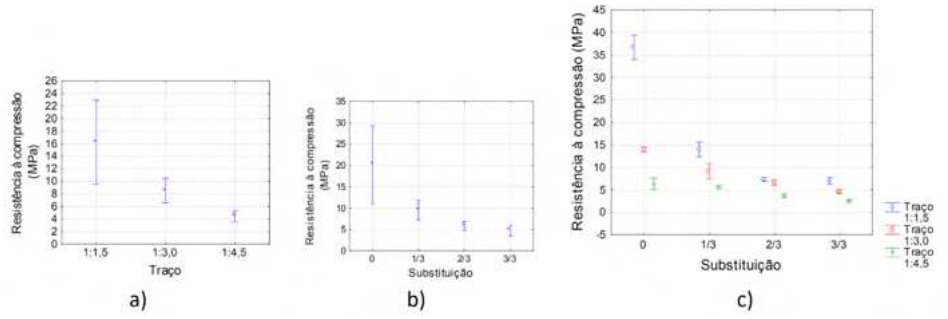


Figura 4 – Comparação da resistência à compressão: a) entre os traços avaliados; b) entre as substituições; c) traço *versus* substituição

Fonte: Autores.

Diante da diferença significativa da interação entre traço e substituição (Figura 4c), destacam-se alguns pontos:

- no traço 1:1,5 as substituições 2/3 e 3/3 apresentaram o mesmo desempenho, assim como no traço 1:4,5 não houve diferença significativa entre a argamassa sem substituição e a com 1/3 de substituição, logo uma maior incorporação de resíduo (traços 1:1,5 3/3 e 1:4,5 1/3) seria indicada;
- os traços 1:1,5 2/3, 1:1,5 3/3 e 1:3,0 2/3 apresentaram o mesmo desempenho mecânico, portanto, o traço 1:3,0 2/3 seria o mais indicado dado a menor proporção de cimento;
- os traços 1:4,5 0, 1:1,5 2/3 e 1:1,5 3/3 apresentaram o mesmo desempenho, assim como os traços 1:4,5 0 e 1:3 2/3, e os traços 1:3 0 e 1:1,5 1/3, evidenciando um maior consumo de cimento para se atingir um mesmo desempenho com substituições de areia de fundição.

Muito da queda da resistência à compressão das argamassas com substituição por areia de fundição se deu pelo aumento na demanda de água para se atingir uma mesma consistência e possivelmente pela distribuição granulométrica uniforme da areia de fundição. Uma possível solução para diminuir essa desigualdade de desempenho entre as argamassas seria o uso de aditivos plastificantes.

4 | CONCLUSÕES

A areia de fundição é um resíduo sensivelmente mais leve, muito mais fino e de granulometria mais uniforme do que a areia natural. Essas características afetaram diretamente as propriedades das argamassas produzidas, de forma que:

- por ser mais fina, a areia de fundição demanda uma maior quantidade de água para se atingir uma mesma consistência na argamassa;
- por ser mais leve, possuir uma granulometria uniforme e demandar mais

água, existe uma tendência de diminuir a densidade da argamassa com maiores teores de resíduo;

- por apresentar uma granulometria uniforme e demandar uma relação água/cimento maior, existe a tendência de diminuição da resistência à compressão da argamassa e aumento da absorção de água.

De modo geral, quanto maior a substituição de areia natural por areia de fundição, maior a tendência de diminuir a consistência demandando mais água, diminuindo a densidade, aumentando a absorção de água e diminuindo a resistência à compressão.

Para minimizar esses efeitos, pode-se aumentar a quantidade de cimento, obtendo-se traços mais fortes quando feita a substituição, para alcançar um mesmo desempenho. Entretanto, essa é uma solução não econômica.

Sugere-se, portanto, fixar a relação água/cimento junto com a utilização de aditivo plastificante nos traços com substituição de areia de fundição, na tentativa de diminuir a quantidade de água demandada (e seus efeitos), garantindo uma mesma consistência. Além disso, o controle da composição granulométrica dos agregados para obtenção de um aglomerado mais contínuo, traz benefícios significativos (como melhora da trabalhabilidade, compacidade e resistência) para o comparativo entre diferentes argamassas.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). Índices Setoriais. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/indices-setoriais/>. Acesso em: 16 de maio de 2021.

2. MARIOTTO, C. L. Regeneração de areias de fundição. **Seminário Nacional sobre Reuso/ Reciclagem de resíduos sólidos industriais**. São Paulo: SMA, 2000.

3. LOPES, L. R. N. **Avaliação da Redução dos Resíduos Sólidos de Areia Resinada em Fundição de Aço Através da Recuperação Térmica**. 2009. 94 f. Dissertação - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

4. ARMANGE, L. C.; NEPPEL, L. F.; GEMELLI, E.; CAMARGO, N. H. A. Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa. **Revista Materia**, v. 10, n. 1, p. 51-62. Rio de Janeiro, 2005.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

6. MARCON, M. F. **Aproveitamento da areia de fundição como agregado miúdo fino em concretos.** 2013. 69 f. Trabalho de Conclusão (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

7. CASALI, J. M.; MIGUEL, T. F.; FELIZARDO, C. C.; MEIRA, N. S.; DOMINGUINI, L.; BETIOLI, A. M. Characterisation and influence of the contente of waste foundry sand on rendering mortars. **Revista Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, Porto Alegre, 2018.

8. OLIVEIRA, D. F. de. **Caracterização dos finos de areia de uma fundição e sua incorporação em argamassa de cimento.** 2014. 57 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, 2014.

9. DAMASCENO, B. C.; AMERICO, J. D. Utilização de areia de fundição na produção de blocos de concreto sem função estrutural. *In:* Congresso PICJR, 2012, Campinas. **Anais [...]**. Campinas, 2012.

10. MARTINI, N. C. **Reuso de areia descartada de fundição para a confecção de blocos de concreto estrutural.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica do Paraná, Londrina, 2017.

11. CAMPOS, M. A.; FERRÃO, A. M. A.; FERNANDES, F. A. A.; CAZELA, A. M. Blocos de concreto com areia de descarte de fundição: um case de sucesso de viabilidade econômica, propriedades mecânicas e de durabilidade. *In:* 18° Congresso ABIFA de Fundição. **Anais**[...]. 2019.

12. ANGST, M; VENDRUSCOLO, M. A. Aproveitamento da Areia de Fundição na Produção de Tijolos. *In:* II Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2, 2015, Itajaí, SC. **Anais Eletrônicos**[...]. Itajaí: ENSUS, 2015. p. 1-11.

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

14. ____. **ABNT NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

15. ____. **ABNT NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

16. ____. **ABNT NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

17. ____. **ABNT NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

18. ____. **ABNT NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.