

PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS EM ESCALA INDUSTRIAL COM A INCORPORAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081144

GHISLENI; GEISIELE[1]; LIMA; GEANNINA TEREZINHA DOS SANTOS[2]
[1]CENTRO UNIVERSITÁRIO AVANTIS; [2]UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.
GHISLENI.GEISI@GMAIL.COM

RESUMO: A areia de fundição, é resíduo proveniente da indústria metalúrgica, descartada em aterros industriais controlados, porém, gera elevado custo e preocupação ambiental. Como alternativa de descarte, o estudo objetivou produzir pisos de pavimentos intertravados em escala industrial com o aproveitamento areia de fundição em substituição à areia natural nos teores 10% e 20%. A metodologia consiste em atender NBR 9781 (2013), analise de MEV e TCLP. Nos resultados, a absorção de água foi inferior à 6% e resistência à compressão superior a 35 Mpa, verifica-se microestrutura formada e inerte ao meio aquoso. Verifica0se a areia de fundição como agregado alternativo.

PALAVRAS-CHAVES: Areia de fundição, Reaproveitamento resíduo, Materiais alternativos.

ABSTRACT: Foundry sand is waste from the metallurgical industry, discarded in controlled industrial landfills, however, it generates high costs and environmental concerns. As a disposal alternative, the study aimed to produce interlocking pavement floors on an industrial scale, using foundry sand to replace natural sand in 10% and 20% contents. The methodology consists of meeting NBR 9781 (2013), analysis of SEM and TCLP. In the results, the water absorption was less than 6% and compressive strength greater than 35 Mpa, there is a microstructure formed and inert to the aqueous medium. Foundry sand is verified as an alternative aggregate.

KEYWORDS: Foundry sand; Waste reuse; Alternative materials.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa à nona posição no mundo em produção de ferro fundido, sendo produzidos anualmente 2,28 milhões de toneladas de peças metálicas (ABIFA, 2019) [1]. Segundo Coutinho (2004) [10], a areia apresenta alta capacidade refratária e ampla facilidade de aglutinação quando misturada com argila e/ou aditivos orgânicos e inorgânicos, características importantes para o desenvolvimento de peças fundidas.

Este agregado é responsável pela fabricação dos moldes para o vazamento do metal, como também estabelece a sua forma, admitindo uma perfeita sincronização entre a operação de moldagem e fusão do metal (BHARDWAJ *et al.*, (2017)) [9].

Ao atingir o seu limite de reutilização no processo de fabricação de peças, a areia de fundição (nomeada AF) é destinada ao aterro industrial controlado, devido ao excesso de elementos químicos inseridos na mistura. De acordo com Ghisleni e Lima (2020) [11], quando esses aterros não são monitorados corretamente podem originar

riscos ambientais, pois alteram as características físicas, químicas e biológicas do local, podendo ocasionar a contaminação do solo e água. Além disso, esses aterros apresentam custos elevados em virtude da sua manutenção.

A reutilização ou reaproveitamento da areia de fundição é uma opção sustentável, proporcionando economia de matéria-prima, redução de espaços destinados aos aterros para resíduos industriais e diminuição dos custos de coleta e de destinação (LIMA, GHISLENI (2020))[14].

Autores mencionam que as suas características são apropriadas para a produção de materiais de construção civil. Para Bhardwaj *et al.* (2017)[9] e Kaur *et al.* (2012) [13], a areia de fundição possui forma sub angular, arredondada, sendo 85% a 90% de suas partículas constituídas com grãos inferiores a 100 µm e com módulo de finura entre 0,9 a 1,6, propriedades que auxiliam no tamponamento dos poros.

Neste contexto, estudos em concretos e argamassas são desenvolvidos com o intuito de avaliar a influência da substituição do agregado miúdo natural pela areia de fundição (MATOS *et al.* (2019) [16], TORRES *et al.* (2017) [20], SINGH *et al.* (2012) [19], GUNEY *et al.* (2010) [12]. Conforme Singh *et al.* (2012) [19], analisaram as propriedades mecânicas (resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade) aos 7, 28 e 91 dias de concretos convencionais produzidos com substituição de areia natural nos teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% pela areia de fundição. Com os resultados, os autores concluíram que nas idades mais tardias, as propriedades mecânicas evoluíram consideravelmente para todas as substituições. Além disso, à medida que o teor de substituição aumentou, as propriedades mecânicas aumentaram, exceto para a mistura constituída com 20% AF. Isso também é explanado por Bhardwaj *et al.* (2017) [9], no qual os autores verificaram que a substituição de até 20% de areia natural por areia de fundição pode proporcionar propriedades semelhantes ao concreto de referência (0% AF).

Isto posto, a pesquisa objetiva analisar o comportamento de pisos de concreto intertravado produzidos em escala industrial quanto à absorção de água e resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura, os comparativos são atrelados a misturas com a substituição parcial da areia natural pela areia de fundição nos teores de 0%, 10% e 20%.

2 | MÉTODOS E MATERIAIS

O processo de produção inicia-se com a coleta do material residual em uma empresa de ferro fundido através do processo de quebra de canal. O agregado ficou armazenado na empresa de pré-fabricados, seguindo o preconizado a NBR 11174 (1990) [5]. Todos os procedimentos realizados na pesquisa, estão explanados na Figura 1.

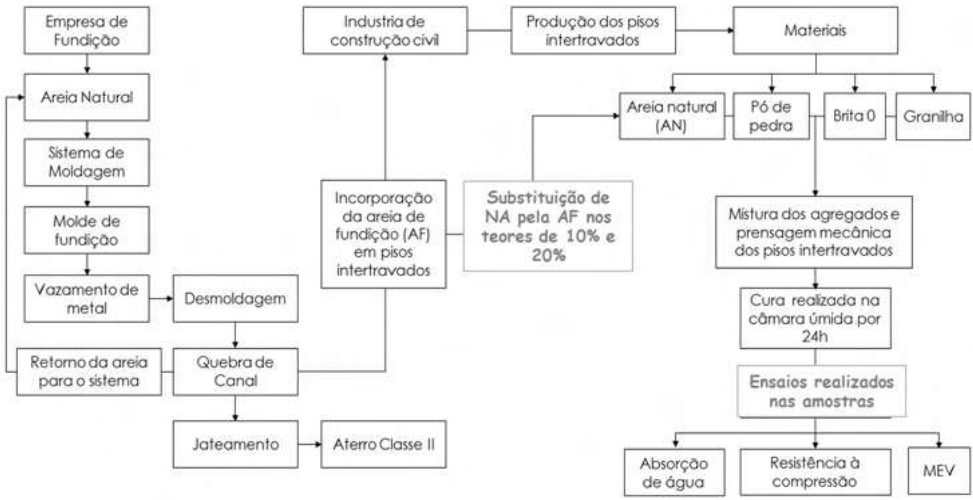

Figura 1- Fluxograma com os procedimentos adotados nesta pesquisa

Fonte: As autoras (2021)

A areia de fundição passou pelo processo de caracterização quanto a sua toxidade devido a sua alta concentração de metais pesados. De acordo com o laudo emitido, a areia de fundição, se apresentou dentro dos limites permitidos pela NBR 10004 (2004) [2] e NBR 10005(2004)[3] sendo material não tóxico, classificada como não inerte, para esta norma Classe II-A.

2.1 Produção industrial

Para a produção dos pisos intertravados primeiramente caracterizou-se os todos os insumos utilizados na mistura, conforme Tabela 1.

Propriedades (NBR NM 52)	CPIV-32 RS	AN	AF	Pó de Pedra	Brita 0	Granilha
Massa específica (g/cm³)	2,83	2,58	2,00	2,70	2,65	2,43
Modulo de Finura		2,6	1,88	2,47	-	-
Diâmetro Máximo (mm)		-	-	4,8	9,5	4,8

Tabela 1 – Caracterização dos insumos

Fonte: As autoras (2021)

Além das propriedades determinou-se o consumo de cada material para o traço. Na Tabela 2, descreve-se os traços utilizados, sendo que a única alteração foi na areia natural para o traço referência e com areia de fundição.

Material	Agregado miúdo	Areia de fundição (AF)	Agregado graúdo	Pó de Pedra	Granilha
Consumo REF (kg/m³)	1544,0	-	1582,0	1719,0	1539,0
Consumo 10%AF (kg/m³)	1389,6	154,4	1582,0	1719,0	1539,0
Consumo 20%AF (kg/m³)	1235,2	308,8	1582,0	1719,0	1539,0

Tabela 2 – Consumo de materiais no traço referência do piso intertravado

Fonte: As autoras (2020)

A mistura das matérias primas foi por sistema mecanizado. Posteriormente, as peças foram moldadas pela prensagem mecânica nas dimensões de 6x10x20 cm (e, l, c), levadas para a câmara úmida a uma temperatura de 23ºC ±1 por 24 horas. Para cada composição e idade (7 e 28 dias) foram produzidos 3 corpos de provas.

2.2 Ensaio de microestrutura e Lixiviação (TCLP)

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) caracterizou morfologicamente os constituintes na amostra, para uma análise comparativa entre amostra referência e 10%AF. Já o ensaio de lixiviação referiu-se à NBR 10.005 (2004)[3], no qual consiste a identificação do extrato lixiviado quanto a transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator, classificando-as quanto a periculosidade ao ambiente em comparativo aos parâmetros da NBR 10004 (2004)[2] (LIMA, GHISLENI (2020))[14].

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Absorção de água

Os resultados de absorção aos 7 e 28 dias estão apresentados na Figura 2. Observa-se que as misturas com areia de fundição aos 7dias resultaram em absorção de água maior que a amostra referência (0% AF). Já aos 28 dias, a porcentagem de absorção reduziu conforme o incremento na porcentagem de AF.

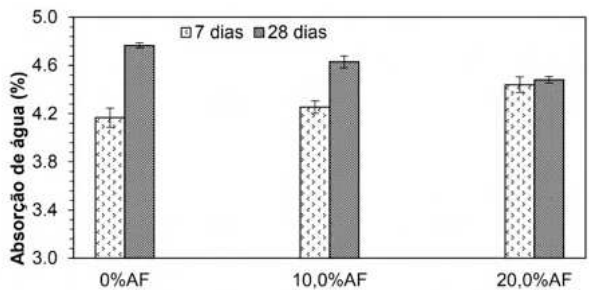

Figura 2 - Resultados de absorção de água aos 7 e 28 dias dos pisos intertravados

Fonte: As autores (2021)

De acordo com a NBR 9781 (2013), todos os resultados analisados de absorção de água dos pisos intertravados, Figura 2, permaneceram entre a faixa permitida inferior a 6%. Sendo assim, por esse ensaio as amostras estão aprovadas para produção com areia de fundição.

3.2 Resistência à compressão

Quanto aos resultados de resistência à compressão estão descritos na Figura 3, para as idades de cura de 7 e 28 dias. Aos 7 dias há evolução de resistência quando os teores de areia de fundição são maiores.

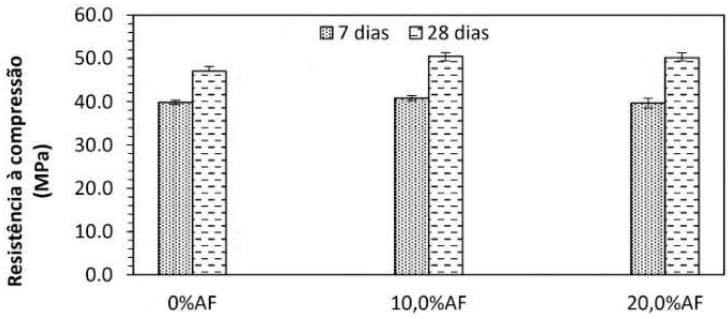

Figura 3- Resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias

Fonte: As autoras (2021)

Ao analisar a Figura 3 aos 7dias, a mistura com 10%AF apresenta valores de resistência à compressão superiores ao piso de referência (0% AF). Já aos 28 dias, a resistência à compressão aumentou para todos os teores de AF que aos 7 dias. Sendo que as misturas com areia de fundição superiores a referência. A composição da areia de fundição (AF) que apresenta maior interação na hidratação da mistura em idade mais tardias, no caso 28 dias.

3.3 Ensaio de Microestrutura e Lixiviação

As imagens de MEV estão representadas na Figura 4, sendo que a mistura referência (0% AF) refere-se a Figura 4.A e, a mistura com 10% AF representa-se na Figura 4.B. A mistura 0%AF, (Figura 4.A), representa o agregado, a composição C-S-H e o CH. Já a mistura com 10%AF (Figura 4.B), representa um refinamento da pasta, obtendo maior formação de cristais, principalmente grumos de C-S-H, em relação à mistura referência, Figura 4.A.

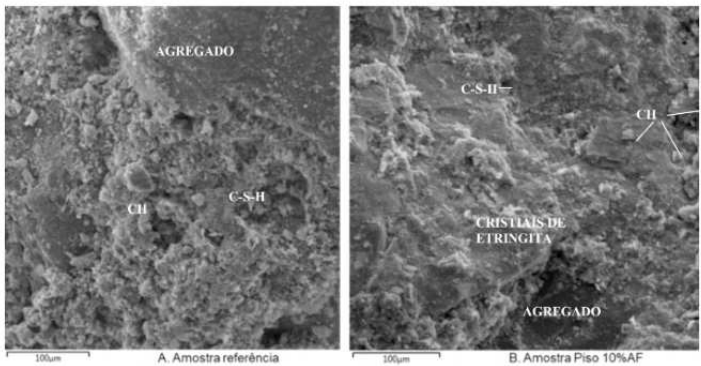

Figura 4 – MEV nas amostras referência e piso 10% AF

Fonte: As autoras (2020)

Esse aumento dos cristais analisados no ensaio MEV para a composição com 10%AF, Figura 4.B, reflete diretamente nos valores de resistência à compressão, Figura 3. Em que, a mistura com 10% areia de fundição obteve aumento de resistência em relação a mistura 0% de areia de fundição. Portanto, analisa-se que ocorreu reação entre a areia de fundição e o CH da hidratação do concreto, desenvolvendo C-S-H secundários.

Nas mesmas amostras que se realizou MEV, testou-se o ensaio de TCLP. Os resultados obtidos estão elucidados na Tabela 5.

Composto	Cd	Cr	Pb	As	Se	Ag	Ba	Hg
0%AF (mg/l)	0,001	0,265	<0,005	0,021	<0,0005	<0,005	0,543	<0,0002
10%AF (mg/l)	0,002	0,07	<0,01	<0,02	0,04	0,03	0,25	ND

Tabela 5- Ensaio de lixiviação TCLP areia de fundição e piso 10% A.F.

Fonte: Os autores (2020)

Verifica-se nos resultados de TCLP, Tabela 5, que os compostos químicos presentes na areia de fundição ficaram inertes na mistura de piso intertravado com 10%AF, pois a amostra com 10%AF apresentou teores inferiores a REF. Ao verificar estes valores e compara-los com os limites estipulados na NBR 10004 (2004)[2], as composições testadas se classificam na Classe II-A, não perigoso. Portanto, a mistura 10%AF pode ser produzida e empregada ao meio, uma vez que os metais pesados ficam inertes ao meio circundante.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados de absorção de água e de resistência à compressão para os pisos

intertravados com areia de fundição apresentaram valores satisfatórios à norma. Absorção de água inferior a 6% e a resistência à compressão superior a 35MPa, conforme NBR 9781 (2013) [6].

Dentre os teores analisados, o piso intertravado com 10% AF obteve melhor desempenho aos 28 dias, com absorção de água inferior a referência e, resistência à compressão superior a todas as misturas. Comprovou-se por MEV e TCLP, a presença de maiores quantidades de C-S-H nesta mistura que à referência (0%AF) e os compostos químicos focaram inertes em meio aquoso, comprovando uma mistura mais coesa.

Além disso, os pisos com areia de fundição são uma alternativa sustentável para a construção civil e a indústria de fundição, uma vez que, há reutilização deste resíduo reflete na redução de materiais naturais e na diminuição de insumo nos aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). Link < http://www.abifa.org.br/producao-de-fundidos-tem-novo-incremento-em-2019/ > 2020.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2013.

3. _____.**NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido. Rio de Janeiro, 2004.

4. _____.**NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

5. _____.**NBR 11174**: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III – inertes. Rio de Janeiro, 1990.

6. _____.**NBR 9781**: Método de ensaio para determinação da resistência à compressão de peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 2013.

7. _____.**NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

8. _____.**NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

9. BHARDWAJ, B; KUMAR, P. Waste foundry sand in concrete: A review. **Construction and Building Materials**. v. 156, p, 661- 667. 2017.

10. COUTINHO, B, N. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 2004. 261 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

11. GHISLENI, G; LIMA, G, T, S. Estudo da viabilidade de reutilização da areia de fundição na produção de blocos de concreto e concreto convencional. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. v.9, p 551 – 570. 2020.

12. GUNEY, Y; SARI, Y.D; YALCIN, M; TUNCAN, A; DONMEZ, S. Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. **Waste Manag**. v. 30. p 1705 - 1713. 2010.

13. KAUR, G; SIDDIQUE, R; RAJOR, A. Properties of concrete containing fungal treated waste foundry sand. **Construction and Building Materials**. v 29, p, 82 – 87. 2012.

14. LIMA, Geannina Terezinha dos Santos Lima; ² GHISLENI, Geisiele. Análise do desempenho de pisos intertravados com a incorporação de areia de fundição produzidos em escala industrial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

15. MARTINS, M, A, B; BARROS, R, M; SILVA, G; SANTOS, I, F, S. Study on waste foundry exhaust sand, WFES, as a partial substitute of fine aggregates in conventional concrete. **Sustainable Cities and Society**. v. 45, p. 187-196. 2019.

16. MATOS, P. R; MARCON, M. F; SCHANKOSKI, R. A; PRUDÊNCIO, L. P. Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes. **Journal of Environmental Management**. v. 244, p 294 - 303. 2019.

17. SANTOS, C, C; DALLA VALENTINA L, V, O; CUZINSKY, F, C. Peças de concreto para pavimentos intertravados produzidos com resíduos de areia de fundição. **60º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Águas de Lindóia – São Paulo. 2016. Link < http://metallum.com.br/60cbc/anais/PDF/13-064TT.pdf >

18. SCHVAICKARDT, C, M; Mattos, J, R, G. Proposta de traço para blocos de concreto de pavimento intertravado. **Tecno-lógica**. v. 22, n.2, p. 157-166. 2018.

19. SINGHA, G; SIDDIQUEB, R. Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. **Construction and Building Materials**. v 26, p, 416 - 422. Jan (2012).

20. TORRES, A; BARTLETT, L; PILGRIM, C. Effect of foundry waste on the mechanical properties of Portland cement concrete. **Construction and Building Materials**. v. 135, p 674 - 681. 2017.