

PRODUÇÃO DE MATERIAIS COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA APLICAÇÃO EM INFRAESTRUTURA URBANA E DE RODOVIAS

Palavras-Chave: Resíduos sólidos, propriedades mecânicas, materiais sustentáveis.

Autores:

Ana Beatriz de Souza, FT – UNICAMP

Giovanna Castan Mazzone, FT – UNICAMP

Júlia Vieira dos Santos, FT – UNICAMP

Mylene Alves de Castro, FT- UNICAMP

Profa. Dra. Gisleiva C. S. Ferreira (orientadora), FT/FECFAU – UNICAMP

Daniel Augusto Oliveira Massola, FT – UNICAMP

Camila Rodrigues Moura, FT - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O setor da construção civil é responsável pelo consumo de grande parte dos recursos naturais extraídos da natureza para desenvolver suas atividades, sendo um dos principais a areia para a fabricação de materiais cimentícios (concretos, argamassas, etc). Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (2010), 255 milhões de toneladas de areia são extraídas anualmente no Brasil, sendo que 68% desse volume é destinado à construção civil. Com isso, destaca-se a necessidade de estudos para viabilizar o uso de outros materiais, por exemplo, resíduos com características físico-químicas semelhantes à areia, na construção civil.

Dentre os possíveis resíduos, destaca-se a Areia descartada de Fundição (ADF), resíduo gerado em grande escala no processo de fundição de peças metálicas. Após o reuso da areia nas fôrmas deste processo, algumas propriedades são modificadas, o que limita o seu uso para o mesmo fim (SANTOS, 2012; DOMINGUES et al., 2021). Cerca de 3 milhões de toneladas de ADF são geradas anualmente apenas no Brasil, sendo que apenas 30% desse resíduo é reutilizado, sendo o restante destinado a aterros sanitários particulares ou públicos.

Há muitos estudos sobre o uso da ADF em materiais cimentícios, principalmente em concretos, apresentando resultados promissores (CANDIAN FILHO et al., 2022). Entretanto, há uma preocupação com a perda da resistência mecânica, o que dificulta o seu uso em materiais estruturais como concreto. Então, ao direcionar o uso da ADF em substituição à areia em argamassas, verifica-se uma excelente oportunidade, por dificilmente apresentar função estrutural em uma construção. Alguns trabalhos realizados indicam que até o teor de 30% ADF é possível manter as propriedades mecânicas das

argamassas, havendo a necessidade de priorizar a trabalhabilidade e outras propriedades do estado fresco (FERREIRA et al., 2023).

Visando mitigar os impactos ambientais ocasionados pelo elevado consumo de recursos naturais, essa pesquisa está direcionada para a avaliação das possibilidades de incorporação de resíduos em argamassas, material muito usado na construção civil. Desse modo, essa pesquisa tem como objetivo determinar as propriedades no estado fresco de argamassas produzidas com substituição parcial da areia por ADF.

METODOLOGIA:

Os principais materiais que foram utilizados nesta pesquisa estão listados na tabela 1. Para a confecção das argamassas, utilizou-se os traços descritos na Tabela 2, em massa.

Material	Sigla	Origem/Tipo	Localização
Cimento Portland	CP II-E 40 RS	Indústria de cimento (Brasil)	Região de Limeira, SP.
Areia descartada de fundição	ADF	empresa do setor metalúrgico	SP
Água	-	Rede de abastecimento	Limeira, SP
Areia quartzosa	AQ	-	-

Tabela 1 – Principais materiais que foram utilizados na pesquisa.

Traço	Materiais		
	CP	Areia	ADF
T0	1	3	0
T30	1	2,10	0,90
T50	1	1,50	1,50
T70	1	0,90	2,10

Tabela 2 – Traços das argamassas de revestimento (em volume), que foram utilizados nos ensaios de índice de consistência (ABNT NBR 1376).

Na primeira etapa da pesquisa foi realizado a caracterização físico-química dos materiais, incluindo a densidade e absorção de água (NBR 16916:2021), massa unitária (ABNT NBR 16972:2021) e granulometria (ABNT NBR 7181). Em seguida, realizou-se a determinação da consistência normal ou Flow Table para obter a relação água/material seco das argamassas, conforme NBR 13276 (ABNT, 2005). Ainda no estado fresco, obteve-se o teor de ar incorporado e densidade (ABNT NBR 13278:2005). Esses ensaios foram realizados para a classificação das argamassas no estado fresco, conforme 13281 (ABNT, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A curva granulométrica da ADF está representada na Figura 1 e a caracterização física da ADF e da areia está apresentada na tabela 3. A tabela 4 apresenta resultados que indicam que as amostras

de ADF e areia apresentam características semelhantes, entretanto, ao classifica-las em função do módulo de finura (MF), tem-se a ADF como muito fina e a areia como fina. Apesar disso, ainda é possível o uso da ADF como agregado miúdo em argamassas, apenas ressaltando que isso pode resultar em perda de resistência mecânica devido a maior área superficial da ADF.

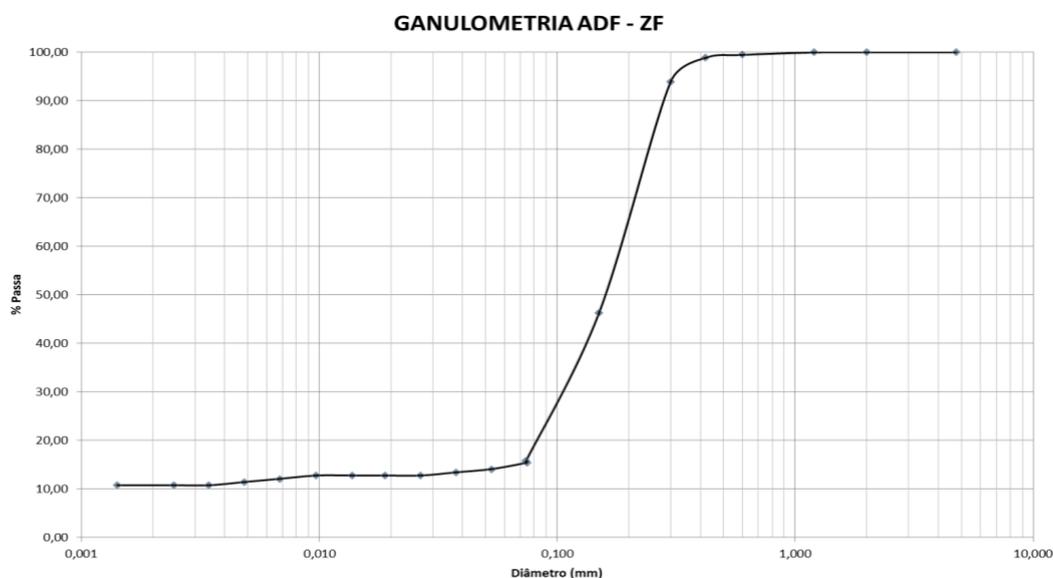


Figura 1 – Curva granulométrica da amostra de ADF.

Parâmetros	AQ	ADF
Massa Unitária [Kg/m ³]	1499	1274
Massa Específica [g/cm ³]	2,62	2,48
Massa Esp. Aparente [g/cm ³]	2,58	2,39
Módulo de Finura (MF)	2,03	1,7
Classificação	Areia fina	Areia muito fina
Diâmetro Máximo [mm]	2,4	1,2
Absorção de Água (%)	0,4064	1,53

*Classificação granulométrica de acordo com a ABNT NBR 7211:2009

Tabela 3. Caracterização física das amostras de areia e ADF.

A composição química da amostra de ADF, obtida por análise de fluorescência de Raios X (FRX), está apresentada na tabela 4. Os dados indicam que o lote de ADF utilizado neste estudo pode ser classificado como areia convencional, considerando o alto teor de sílica (90,3%).

Amostra	Elementos químicos (%)			PF (%)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	
ADF	90,3	2,76	1,36	4,61

Tabela 4. - Composição química da amostra.

A tabela 5 apresenta resultados das argamassas em seu estado fresco (índice de consistência, relação água/material seco e densidade). Em relação ao índice de consistência, pode-se afirmar que a

substituição parcial da areia por ADF proporcionou o aumento deste parâmetro em função da necessidade de aumentar a relação a/c. Isso pode ser justificado pela maior finura da ADF, conforme classificação da tabela 3, o que resultou em maior área superficial para a mesma quantidade de CP, reduzindo a capacidade de hidratação e formação dos compostos químicos, responsáveis pelas propriedades mecânicas das argamassas. Já a densidade das argamassas com ADF foi menor do que o traço REF, com redução proporcional ao aumento do teor do resíduo. Isso ocorreu devido a ADF apresentar valores menores de massa específica, massa específica aparente e aparente seca, em relação ao traço T0, conforme tabela 1.

Propriedades	T0	T30	T50	T70
Índice de consistência (mm)	256	264	255	263
Relação a/c	0,82	1,1	1,15	1,3
Densidade estado fresco (kg/m ³)	2129	2195	2152	2086

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste estudo, foi possível concluir que a substituição parcial da areia por ADF em argamassas, é viável em relação às propriedades do estado fresco. Entretanto, para manter as propriedades mecânicas, é necessário aumentar o consumo do CP devido o menor módulo de finura da ADF, considerando a mesma trabalhabilidade da argamassa T0.

Com isso, indica-se para estudos futuros avaliar de forma mais aprofundada sobre a proporção entre os materiais que compõem as argamassas com ADF, além das propriedades mecânicas como a resistência à tração e módulo de elasticidade.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). As alunas do programa PIBIC-EM, vinculadas a esse projeto, agradecem a ajuda dos alunos Mylena Castro (graduação), Daniel Massola e Camila Moura (mestrado), além dos técnicos Diego Thomaz, Ivonei Teixeira e Reginaldo Ferreira (FT/UNICAMP). Agradecimento à empresa Z&F pela doação do lote de ADF utilizado neste projeto.

BIBLIOGRAFIA

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13276: Argamassa Para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13278: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13281: Argamassas inorgânicas - Requisitos e métodos de ensaios Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

Agência Nacional de Mineração – ANM. (2010). Anuário Mineral Brasileiro 2010. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2010>. Acesso em: 19 jun. 2024.

CANDIAN FILHO, E. L.; FERREIRA, G. C. S.; NOGAROTTO, D. C.; POZZA, S. A. Pervious concrete with waste foundry sand: mechanical and hydraulic properties. *Revista Matéria*, v. 27, n. 1, 14 p., 2022.

DOMINGUES, L. G. F.; FERREIRA, G. C. S.; PIRES, M. S. G. Waste foundry sand used to cover organic waste in landfills. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. Fator de Impacto 2.8630 (2020), v. 23, 2021.

FERREIRA, G. C. S.; LIMA, T. G.; PIRES, M. S. G.; CARNIN, R. L. P. Propriedades mecânicas de argamassas com areia descartada de fundição. 32º Congresso da ABES - Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2023.

SANTOS, W. R. **O uso sustentável da areia de fundição**. Trabalho de conclusão de curso de Bacharelado em Química Faculdade Campo Limpo Paulista. 2012. Disponível em: <https://www.unifaccamp.edu.br/repository/artigo/arquivo/21092023025809.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2024.

DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2024). Projeto de Lei N°278 - Autorização e utilização de Areia Descartada de Fundição. Disponível em: <https://www.doe.sp.gov.br/legislativo/expediente/projeto-de-lei-n-278-de-2024-202404242116695263488>. Acesso em: 02 jul. 2024.