

Blocos de Concreto com Areia de Descarte de Fundição: Viabilidade Econômica, Propriedades Mecânicas e de Durabilidade

Concrete Blocks With Waste Foundry Sand: Economic Viability, Mechanical and Durability Characteristics

M.A. Campos^{a†}, A.M. Argollo Ferrão^a, F.A.A. Fernandes^b

^a *Universidade Estadual de Campinas, Laboratório de Engenharia de Empreendimentos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, Brasil*

^b *Artblocos - Blocos de Concreto e Pisos Intertravados, Valinhos, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: eengenheiromarcoantonio@hotmail.com*

RESUMO

No Brasil o volume de areia de descarte de fundição (ADF) é elevado, o que justifica o desenvolvimento de uma metodologia de reciclagem que permita a sua utilização na construção civil – beneficiando toda a cadeia produtiva e diminuindo o seu descarte nos aterros sanitários, que onera o setor. O bloco de concreto é um produto amplamente utilizado na construção civil brasileira, e a ADF pode ser utilizada como um agregado, substituindo a areia comum. Portanto, foram elaborados blocos de concreto com teores de substituição, em massa, de 13%, 19% e 25% da areia comum por ADF, submetendo-os aos ensaios de resistência à compressão nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias, comparando estes resultados a traços de blocos com agregados comuns. Além de obterem-se blocos de concreto com resistência que permite classificá-los como Classe B, o seu custo de produção com a incorporação de ADF foi inferior ao custo do bloco com agregados comuns. Pretende-se, com este artigo, demonstrar o valor da ADF como agregado na confecção de blocos de concreto, e ressaltar que até o momento presente não há uma metodologia difundida para o seu reaproveitamento em escala nacional. A incorporação da ADF na produção de blocos de concreto resulta em benefícios ambientais e econômicos para toda a cadeia produtiva envolvida.

ABSTRACT

In Brazil there is a very large volume of waste foundry sand (ADF), which explains the development of a recycling methodology that allows it to be used in civil construction - benefiting the entire production chain and reducing its disposal in landfills, which puts a burden on the sector. Concrete blocks are a widely used product in Brazil's civil construction sector and the ADF can be used as an aggregate, taking the place of ordinary sand. Therefore, concrete blocks were developed with levels of substitution of the common sand by the ADF, in terms of mass, of 13%, 19% and 25%. These blocks were then subjected to compressive strength testing at the ages of 7, 14, 21 and 28 days and the results were compared to concrete blocks made from common aggregates. In addition to obtaining concrete blocks with resistance that allows them to be classified as Class B, the production cost of the blocks that included ADF was lower than that of concrete blocks made from common aggregates. The objective of this article is to show the value of ADF as an aggregate in the manufacture of concrete blocks, and to stress that so far there is no widespread

Palavras-chave:

Areia de fundição; Bloco de concreto; Reciclagem; Sustentabilidade.

Keywords:

Foundry sand; Concrete blocks; Recycling; Sustainability.

methodology for its reutilization on a national scale. The inclusion of ADF in the production of concrete blocks generates environmental and economic benefits for the entire productive chain involved.

1. Introdução

Na última década, 2010, o processo de desenvolvimento do Brasil fomentou toda a cadeia da construção civil em especial através dos atores envolvidos no Programa Minha Casa Minha Vida, que entregou ou teve contratada pelo governo federal cerca de 4 milhões de unidades habitacionais.

Soma-se a este número os lançamentos imobiliários que não se enquadram no mencionado programa governamental, as unidades comerciais e todas as outras obras que movimentaram a economia nacional nos últimos anos. A evolução da construção civil no Brasil contribuiu, entre outros fatores, para com o desenvolvimento de novas tecnologias, processos fabris, produtos e materiais.

Por ser um processo de construção modular e eficiente na etapa de alvenaria, a utilização de blocos com função de vedação ou estrutural, cerâmicos ou de concreto, atingiu patamares elevados, sendo esta a técnica escolhida pela maioria dos empreendimentos do setor de construção de edifícios. Com isso o desenvolvimento da indústria de blocos experimentou um grande impulso, incorporando novas tecnologias, materiais, processos e produtos.

Os blocos de concreto são classificados por classe, conforme a NBR 6136 [1] em função de sua resistência à compressão, que determina a sua utilização (como, e em quais condições o material pode ser utilizado). De acordo com a NBR 6136 [1] os blocos de concreto devem atender, quanto a seu uso, as classes descritas a seguir:

- Classe A: bloco de concreto com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo: $F_{bk} \geq 8,0$ MPa;
- Classe B: bloco de concreto com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo: $F_{bk} \geq 4,0$ MPa e $F_{bk} < 8,0$ MPa;
- Classe C: bloco de concreto com ou sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo: $F_{bk} \geq 3,0$ MPa;
- Classe D: bloco de concreto sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo: $F_{bk} \geq 2,0$ MPa.

Constituídos por uma composição de material agregado, em geral, agregado graúdo, brita “0” ou pó-de-pedra, e miúdo, areia grossa, material aglomerante, cimento Portland, e uma parte líquida, água e aditivos, o bloco de concreto é um produto da construção civil passível de receber novos e alternativos materiais, mantendo em muitos casos suas características e propriedades.

É prática de mercado a utilização do pó-de-pedra em substituição ao agregado graúdo, sendo este o material alternativo mais utilizados nos blocos de concreto. Entretanto, há outros casos bem-sucedidos como em Campos [2] que combinou isoladores elétricos de porcelana ao cimento. Em Buttler [3] e Prado [4] os blocos foram confeccionados com rejeitos de concretos e em Fonseca [5] os agregados eram provenientes de resíduos de construção e demolição. Em todos os casos os blocos atenderam aos valores mínimos da norma NBR 6136 [1].

A opção pela areia de descarte de fundição (ADF) como agregado alternativo miúdo em blocos de concreto deve-se ao fato desta conter areia, argila, carvão e material fino, que foram queimados a altas temperaturas e possuem consequentemente um índice de atividade pozolânica que permite sua utilização na construção civil.

Para o ano de 2022 a produção anual de materiais fundidos foi na ordem de 2.978.693 toneladas, incluindo a produção de ferro, aço e materiais não ferrosos. Compreendendo um descarte médio de aproximadamente 85% da geração de materiais fundidos, apenas no ano de 2022 o passivo brasileiro corresponde a aproximadamente 2.500.000 toneladas de ADF [6].

Trata-se de um passivo com valores representativos de problema ambiental para o seu descarte correto, pois os custos para envio aos aterros sanitários são elevados, e há vários tipos desta areia que diferem entre si devido aos seus constituintes e meios de geração. Uma

metodologia adequada tanto para a classificação de seus constituintes como para a sua aplicação permite o uso destas areias de descarte de fundição na construção civil, [7,8].

Soma-se ao volume de descarte de ADF os rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA), que por apresentar quantidades variáveis para cada tipo e local da extração da areia não há até o momento, no Brasil, dados em relação ao seu volume gerado.

Com isso, uma substituição combinada de areia de descarte de fundição e rejeitos de cascalho da extração de areia na produção comercial de blocos de concreto torna-se uma opção viável, visto que seus teores de combinação atendem a Curva Bresser de granulometria e principalmente contribuem para a diminuição dos passivos destes resíduos que são atualmente pouco reutilizados no Brasil.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi elaborar blocos de concreto combinando a mistura de agregados contendo areia de descarte de fundição (ADF), como agregado miúdo, e rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA), como agregado graúdo, comparando-os a traços de blocos de concretos com areia comum (AC) e RCA. O tipo de bloco escolhido foi do tipo Estrutural Módulo 14 (M14) de classe estrutural e atendimento, mínimo, a Classe C aos 28 dias de idade, conforme a NBR 6136 [1].

Em relação as cargas de ruptura todos os blocos atenderam ao valor mínimo da norma para a classe escolhida inicialmente, porém, os valores obtidos permitiram classificá-los como Classe B que é um bloco de concreto com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo, o que ilustra os benefícios quando da utilização combinada de areia de descarte de fundição e rejeitos de cascalho da extração de areia.

2. Materiais e métodos

Os materiais utilizados neste trabalho foram caracterizados inicialmente em relação a sua composição através dos ensaios de MEV/EDS: cimento Portland CPV-ARI, Figura 1 (a); Agregado miúdo comum, areia média (AM), 1 (b); Agregado graúdo de rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA), 1(c); Agregado miúdo de areia de descarte de fundição (ADF), 1 (d).

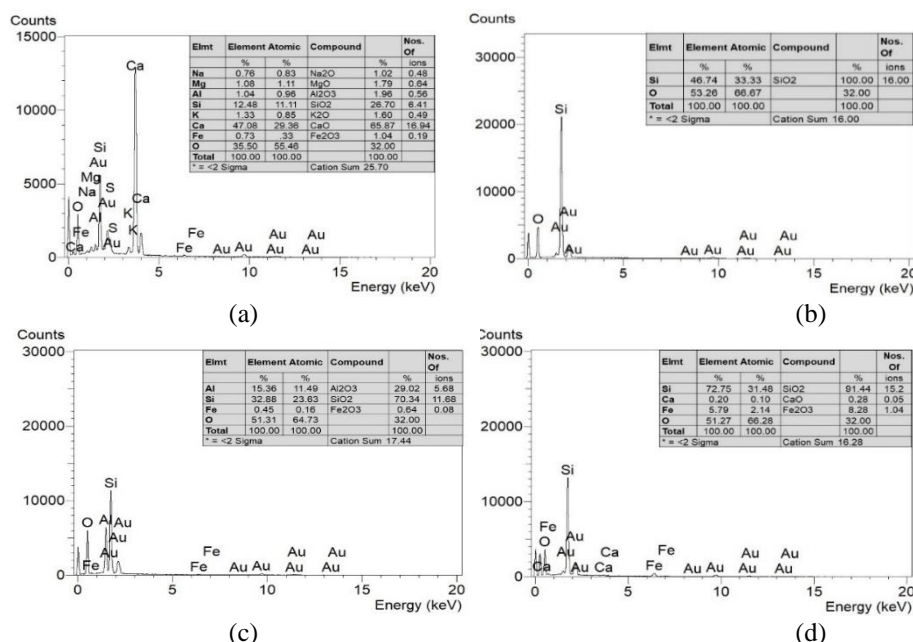


Figura 1 - EDS Cimento Portland CPV-ARI (a), Areia comum - AC (b), Rejeitos de cascalho da extração de areia (c), Areia de descarte de fundição - ADF (d).

Os agregados comuns e alternativos possuem grande quantidade do composto de silício (Si) combinado ao oxigênio resultando no dióxido de silício, sílica (SiO₂) – essencial para a hidratação do cimento e consequente aumento de resistência, quando em conjunto com o CaO,

presente no cimento, na formação do composto C-S-H [9]. Os agregados miúdos têm suas propriedades e características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades agregados miúdos.

Ensaio	Agregado miúdo	
	Areia comum - AC	Areia de fundição - ADF
Composição Mineralógica	Inócuos: quartzo, minerais máficos Friáveis: fragmentos de rocha alterada	Areia de quartzo fina, moldagem de peças de ferro
Grau de Esfericidade	Alta	Alta
Grau de Arredondamento	Subarredondado	Arredondada
Superfície do Grão	Fosco	Fosco
Módulo de Finura	2,70	1,34
Dimensão Máxima (mm) [10]	1,20	1,20
Massa Específica (g/cm³) [11]	2,60	2,33
Massa Unitária (g/cm³) [12]	1,48	1,52
Absorção de Água (%) [13]	0,19	0,50
Torrões de Argila e Materiais Friáveis (%) [14]	0	0
Teor de Material Passante na Peneira 75 µm (%) [15]	2,85	4,08

A partir destes dados foram determinados os traços de materiais constituintes para os blocos de concreto, conforme a Tabela 2. Os valores apresentados na Tabela 2 referem-se a capacidade do misturador mecânico para a moldagem de cerca de 21 blocos de concreto de 140 x 190 x 390 mm, bloco módulo M14. Todo o processo de mistura dos materiais, moldagem e vibração dos blocos foi realizado mecanicamente, sem nenhuma interferência humana e manual.

Tabela 2 - Quantidade de materiais (kg) para cada traço de bloco de concreto M14.

Traços	Cimento	Rejeito de cascalho (RCA)	Areia de fundição (ADF)	Areia Comum (AC)	Água
13% ADF	16	256	36	-	20
19% ADF	16	238	54	-	20
25% ADF	16	220	72	-	20
13% AC	16	256	-	36	20
19% AC	16	238	-	54	20
25% AC	16	220	-	72	20

Todos os blocos foram mantidos ao abrigo do sol e intempéries durante todo o processo de cura do concreto até a data de ensaio. Nas primeiras 72 horas de cura os blocos permaneceram na câmara de cura, com condições favoráveis de saturação da umidade, sendo posteriormente armazenados em pallets ao ar livre, mas protegidos do sol e das intempéries.

Após a mistura mecânica de todos os materiais o concreto é moldado em fôrmas metálicas através da prensagem e vibração, diminuindo os vazios do concreto. Atribui a este processo de prensagem do concreto e a baixa relação água / materiais secos, a não expansão das partículas de areia de descarte de fundição, conforme foi relatado em outras pesquisas [16].

A Tabela 3 apresenta os teores, em porcentagem, da utilização combinada de areia de descarte de fundição (ADF) e rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA), e de areia comum (AC) e RCA, na produção de blocos de concreto M14.

3. Resultados e Discussão

3.1. Propriedades mecânicas e de durabilidade

A norma brasileira para blocos de concretos, NBR 6136 [1], define a idade de 28 dias como o parâmetro principal para a realização dos ensaios de resistência à compressão, análise dimensional

e permeabilidade. Portanto, neste trabalho realizaram-se ensaios para as propriedades de resistência à compressão e análise dimensional para a idade normatizada.

Tabela 3 - Porcentagem de combinação de agregados.

Traços	Rejeito de cascalho (RCA)	Areia de fundição (ADF)	Areia Comum (AC)
13% ADF	87	13	-
19% ADF	81	19	-
25% ADF	75	25	-
13% AC	87	-	13
19% AC	81	-	19
25% AC	75	-	25

Os ensaios de resistência à compressão também foram realizados nas idades de 7, 14 e 21 dias para verificar a evolução de carga de ruptura durante o processo de cura dos blocos.

Entretanto, em relação a moldagem dos blocos de concreto através de uma análise visual foi possível destacar que não há nenhuma diferença, a olho nu, quanto a mistura dos materiais, textura do concreto e aplicação da massa nas fôrmas para todos os traços ensaiados.

Destaca-se também que o processo de moldagem e vibração foi o mesmo utilizado para os blocos de concreto com materiais convencionais e que os mesmos atenderam as recomendações das normas quanto a ter arestas vivas e não apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e a durabilidade da construção, não sendo realizado qualquer reparo para ocultar defeitos eventualmente existentes nos blocos.

Pela análise visual dos blocos também não é possível distinguir nenhuma diferença quanto ao acabamento e textura das paredes, cor do bloco. Antes de serem rompidos à compressão, todos os blocos de concretos, total de seis blocos de cada traço e idades ensaiadas, passaram por verificação superficial e visual do seu aspecto. Os resultados constam na Tabela 4, onde verifica-se que nenhuma amostra apresentou não conformidade.

Tabela 4 - Verificação superficial e visual dos blocos de concreto.

Verificação	Número de não conformidades					
	13% ADF	19% ADF	25% ADF	13% AC	19% AC	25% AC
Trincas	0	0	0	0	0	0
Paralelismo entre as faces	0	0	0	0	0	0
Arestas vivas	0	0	0	0	0	0
Materiais Orgânicos	0	0	0	0	0	0

Para os ensaios de resistência à compressão e posterior classificação de acordo com a NBR 6136 [1] não são considerados os valores de carga de ruptura e calculada uma simples média aritmética, é necessário aplicar a equação da NBR 15812-2 [17] que considera a resistência característica da amostra.

Como foram ensaiados mais de 20 blocos para cada idade e tipo foi considerada a equação:

$$f_{ek} = f_{em} - 1,65 S_n \quad (1)$$

Onde:

f_{em} é a resistência média dos exemplares;

S_n é o desvio-padrão da amostra.

A Tabela 5 apresenta os valores da resistência característica, F_{bk} , nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para todos os blocos de concreto. Na idade de 28 dias a NBR 6136 [1] permite classificar os blocos em classes conforme sua resistência. A Figura 2 ilustra a evolução da resistência para os traços ensaiados.

Analisando a evolução da resistência nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias não há um comportamento linear de crescimento em relação ao teor de agregado miúdo, ADF ou AC, e a idade de ensaio.

O traço 13% ADF (areia de descarte de fundição) apresentou até os 14 dias de idade uma estabilidade, com evolução de resistência a partir desta data, obtendo a maior resistência entre os traços com areia de fundição, de 4,1 MPa aos 28 dias de idade. Nos demais traços com areia de fundição, 19% ADF e 25% ADF, a evolução foi similar com ambos obtendo 2,6 MPa aos 7 dias e 4,0 MPa na idade de 28 dias.

Tabela 5 - Resistência característica à compressão, Fbk.

Valores de Resistência Característica à Compressão Fbk (MPa)					
Traços	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	Classificação NBR 6136
13% ADF	2,3	2,3	3,4	4,1	Classe B
19% ADF	2,6	2,7	3,0	4,0	Classe B
25% ADF	2,6	2,8	3,2	4,0	Classe B
13% AC	3,6	4,4	4,5	4,6	Classe B
19% AC	3,5	3,6	3,8	4,2	Classe B
25% AC	3,5	3,6	3,8	4,5	Classe B

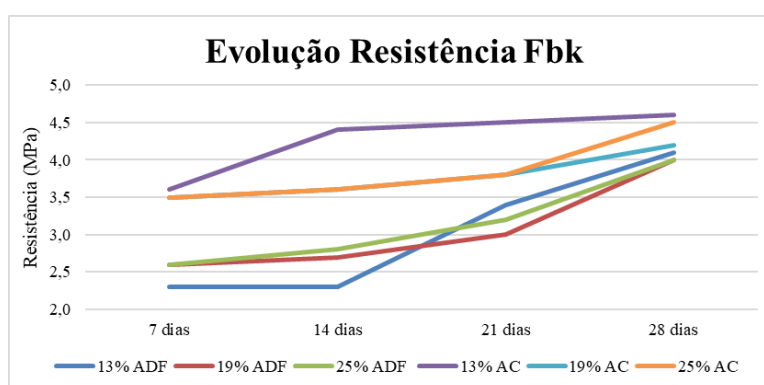


Figura 2 - Evolução resistência característica à compressão, Fbk, 7 a 28 dias.

Os blocos de concreto com agregado miúdo de areia comum (AC) apresentaram as maiores resistências, entretanto, não é possível relacionar esta resistência em razão do teor combinado dos agregados. O traço 13% AC apresentou em todas as idades ensaiadas as maiores resistências, atingindo 4,6 MPa aos 28 dias. Entre 7 e 21 dias os traços 19% AC e 25% AC obtiveram os mesmos resultados, diferenciando-os apenas na idade de 28 dias com 4,2 MPa para o bloco 19% AC e 4,5 MPa para o traço 25% AC.

Todos os blocos de concreto apresentaram aos 28 dias resistência característica à compressão, Fbk, igual ou superior a 4,0 MPa, o que permite classificar todos os blocos, em conformidade com a NBR 6136 [1], independentemente do teor de areia de descarte de fundição (ADF) e de areia comum (AC), como blocos de Classe B com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

O propósito inicial do trabalho era obter blocos de concreto de Classe C, porém, os valores de resistência obtidos, aos 28 dias de idade, permitem classificar todos os blocos, independentemente das porcentagens e teores de areia de descarte de fundição e de areia comum, em um nível superior, Classe B.

3.2. Viabilidade econômica

Os custos de produção dos blocos de concreto com areia de descarte (ADF) e com areia comum (AC) são apresentados na Tabela 6. Nestes custos não foram considerados os valores para a implantação de uma fábrica de blocos de concretos, como compra de máquinas e equipamentos, terreno e implantação de toda a infraestrutura para o funcionamento da empresa, e sim apenas os

seus custos de produção.

Para a produção do bloco de concreto com ADF não foi considerado o custo da areia de descarte de fundição pois esta matéria-prima é repassada gratuitamente a empresa responsável pela moldagem.

Outro item que não foi considerado na planilha de custo de produção foi o valor do frete do envio da areia de descarte de fundição até a empresa responsável pela moldagem dos blocos, pois como a ADF é um material de descarte a indústria de fundição acaba por fornecer gratuitamente, e sem cobrar o frete, toda a areia de fundição utilizada. Destaca-se também a proximidade entre as indústrias de fundição e de bloco, o que potencialmente o custo não frete não interferiria nos custos de produção.

Tabela 6 - Custo de produção bloco de concreto com Areia de descarte de fundição (ADF) e Areia comum (AC).

I - Custos Diretos e Indiretos		
I.I - Materiais	Porcentagem (ADF)	Porcentagem (AC)
Cimento	17	17
Agregado Graúdo - (RCA)	16	16
Agregado Miúdo - Areia de Fundição (ADF)	0	-
Agregado Miúdo - Areia Comum (AC)	-	2,5
Água	1	1
Subtotal	34	36,5
I.II - Mão-de-obra		
Mão-de-obra	18	18
Subtotal	18	18
I.III - Despesas Indiretas de fabricação		
Energia	5	5
Manutenção	15	15
Subtotal	20	20
Subtotal I - Despesas Diretas	72	74,5
II - Despesas Administrativas		
Administração / Financeiro	18	18
III - Lucro		
Lucro líquido	10	7,5
Total Geral	100	100

A ADF é uma matéria-prima que não necessita de beneficiamento para ser incorporada ao processo de produção dos blocos. Nestas condições o bloco com ADF apresenta um lucro líquido 2,5% maior que o bloco com areia comum – correspondente à porcentagem da areia comum no custo final do bloco. Assim, além do ganho ambiental com a utilização da ADF, há que se considerar também o ganho financeiro para a empresa que produz o bloco.

4. Conclusões

Qualquer que seja a metodologia de aplicação de um resíduo ou de um material alternativo na construção civil já é uma atitude que merece a atenção de estudos e que deve ser incentivada. Quando se consegue integrar ao processo de produção um composto de materiais alternativos provenientes de resíduos que seriam descartados, o ganho é maior e passa a ser compartilhado por toda sociedade, meio ambiente e indústrias envolvidas no processo, tanto as que incorporam os resíduos em seus produtos como as próprias emissoras desses resíduos.

A confecção de blocos de concretos com agregados formados por uma mistura de rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA) e areia de descarte de fundição (ADF), atingiu o objetivo inicial deste trabalho que seria a elaboração de blocos de concreto com fins estruturais.

Os rejeitos de cascalho da extração de areia constituem um material descartado nos portos de areia, de grandes dimensões (superiores a 25 mm), formato esférico, e textura lisa. Para as empresas extrativistas não é interessante o seu beneficiamento, mas quando moídos, estes podem

adquirir granulometria e formato similares aos da brita comum, permitindo sua utilização.

A areia de descarte de fundição é um resíduo de difícil descarte, devido ao grande volume de produção, localização de plantas fabris distribuídas em quase todo o país e elevado custo de descarte em aterros sanitários. Porém, o seu uso na construção civil é viável devido a grande porcentagem de sílica em sua constituição. Como se sabe, a sílica possui propriedades pozolânicas benéficas para concretos, argamassas e seus subprodutos.

Todos os traços de blocos de concreto, combinando RCA e ADF, e RCA e areia comum (AC), atenderam a NBR 6136 [1] quanto à análise dimensional, pois as paredes longitudinais e transversais possuem espessura igual ou superior a 18 mm, e à resistência característica à compressão especificada na inicial, que seria para a produção de um bloco com função estrutural, isto é, resistência Fbk superior a 3,0 MPa.

De acordo com os valores obtidos, todos os blocos de concreto foram classificados com função estrutural e utilização em elementos de alvenaria acima do nível do solo, pertencendo a Classe B, conforme a NBR 6163 [1], com $Fbk \geq 4,0$ MPa.

Não há relação entre o teor combinado de areia de fundição e rejeito de cascalho ou entre areia comum e rejeito de cascalho com os valores de resistência à compressão obtidos com o decorrer dos ensaios. Analisando os resultados deste trabalho não há uma linearidade de tendência de evolução e resistência final, aos 28 dias, em razão da porcentagem de ADF ou AC dos blocos de concreto.

O processo de produção dos blocos de concreto, via prensagem e vibração, combinada com a baixa relação água / materiais secos contribui para a não ocorrência de expansão de partículas de areia de descarte de fundição que poderia deformar o produto e impedir sua aplicação.

A economia gerada pelos blocos de concreto com areia de descarte de fundição é significativa, pois a ADF é um material repassado gratuitamente pela indústria metalúrgica para a empresa responsável pela moldagem dos blocos, e por isso não há o incremento deste agregado ao custo do bloco, permitindo um aumento de 2,5% do lucro do bloco com ADF em comparação ao bloco com areia comum.

Por ser um trabalho pioneiro na combinação conjunta de rejeito de cascalho da extração de areia e areia de descarte de fundição em blocos de concreto, recomenda-se novos estudos em relação a variação de teores destes agregados, mas como atendimento às curvas granulométricas de Besser, para que os blocos obtenham uma maior resistência e consequente melhor classe de uso, e haja a reutilização destes materiais.

O processo apresentado neste trabalho é empregado há mais de cinco anos em uma empresa localizada na região de Campinas, interior do estado de São Paulo-Brasil, e que já produziu mais de 5.000.000 de blocos de concreto com ADF e RCA e reciclou mais de 10.500 toneladas de ADF. Tais números constituem um legado para próximas pesquisas visando a utilização de ADF e RCA não apenas em blocos de concretos, mas em concretos e argamassas também.

Estes resíduos devem se somar a outros materiais alternativos beneficiando não apenas o setor da construção civil, mas toda a cadeia produtiva, pois há a utilização de resíduos antes descartados e principalmente a diminuição da poluição com a extração de materiais da natureza e seu beneficiamento industrial.

Referências

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.
- [2] M.A. Campos. Isoladores elétricos de porcelana na construção civil: Propriedades, pesquisa e aplicação. Novas Edições Acadêmicas, 2018.
- [3] A.M. Buttler. Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. Tese PhD, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2007.
- [4] D.M. Prado. Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto. Dissertação M.Sc, Escola de Engenharia de São Carlos da

- Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2006.
- [5] F.B. Fonseca. Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos da construção e demolição. Dissertação M.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2002.
 - [6] Associação Brasileira de Fundição (ABIFA). Desempenho do setor de fundição - Dezembro/2022. Dezembro de 2022, 2022.
 - [7] Associação Brasileira de Fundição (ABIFA). Indústria da Fundição: Expectativa de Mercado. Abril de 2018, 2018.
 - [8] S. Chegatti. Areias Descartadas de Fundição. Contexto, Gerenciamento e Impacto. Editora Appris, Curitiba, 2016.
 - [9] A.M. Neville, J.J. Brooks. Tecnologia do Concreto. Bookman, Porto Alegre, 2013.
 - [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7211 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2009.
 - [11] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
 - [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
 - [13] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 30 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
 - [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7218 - Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.
 - [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
 - [16] M.A. Campos, L. Passos, A.M. Argollo Ferrão, A.L. Moreno Junior. Areia de fundição e isoladores de porcelana como agregados alternativos em argamassas. In 23° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - 23° CBECiMat, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2018.
 - [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15812-2 - Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos, Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

ORCID

- M. A. Campos 0000-0002-0905-5476 (<https://orcid.org/0000-0002-0905-5476>)
A. M. Argollo Ferrão 0000-0003-0687-3622 (<https://orcid.org/0000-0003-0687-3622>)
F. A. A. Fernandes 0009-0009-9323-7712 (<https://orcid.org/0009-0009-9323-7712>)