

## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO (ADF) NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA

Schmitz, R.R.S. (1); Dalla V. L. V. O. (2); Folgueras, M. V. (3)

Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina  
(UDESC)

Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PGCEM  
Campus Universitário, Bom retiro, Caixa Postal 631, CEP 89223-100, Joinville/SC,  
Brasil

e-mail: rose.r.schmitz@gmail.com

### RESUMO

*Com o desenvolvimento das cidades cresce a necessidade de novas edificações e de materiais ecologicamente corretos. O cimento é o principal produto utilizado na indústria da construção civil. A adição de agregados que ajudem no aumento das propriedades dos produtos cimentícios é de relevante importância. Os agregados provenientes de resíduos industriais, são responsáveis por grande impacto ambiental. Este trabalho tem como objetivo estudar o efeito da adição de areia descartada de fundição (ADF), proveniente do processo de moldagem, na fabricação de argamassa. Avaliou-se através de ensaios, resistência à compressão e tração, atividade pozzolânica, índice de vazios e absorção de água, entre outros métodos de caracterização da areia. Os resultados mostram que a ADF aumenta as propriedades de resistência da argamassa pelo efeito de empacotamento das partículas entre os grãos de agregados. Este resíduo pode ser utilizado como agregado, aditivo e até mesmo como matéria prima para a fabricação do cimento.*

Palavras-chave: Areia de fundição; argamassa; efeito de empacotamento; cimento

### ABSTRACT

With the development of cities grows the need for new buildings and environmentally friendly materials. Cement is the main product used in the construction industry. The addition of aggregates which help in increasing the properties of cementitious products is of significant importance. The aggregates from industrial waste, are responsible for major environmental impact. This work aims to study the effect of adding discarded foundry sand (ADF), from the molding process, the manufacture of mortar. Evaluated through testing, tensile and compressive strength, pozzolanic activity, voids and water absorption, among other methods of characterization of sand. The results show that the ADF increases the strength properties of the mortar

by the effect of packing of the particles between grains of aggregates. This residue can be used as an aggregate, an additive and even as raw material for the manufacture of cement.

Keywords: Sand casting; mortar; effect of packaging; pozzolanic reaction

## 1. INTRODUÇÃO

Cimento Portland é um material usualmente conhecido e utilizado na construção civil como cimento, surgiu na Inglaterra em 1824, sendo patenteado por Joseph Aspdin<sup>(1)</sup>. O cimento é um pó fino com propriedades aglutinantes e ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, não se decompõe mais. Composto de clínquer, com adições de substâncias que facilitam o seu uso e estas adições definem os diferentes tipos de <sup>(1)</sup>.

O clínquer, é o principal composto do cimento e leva em sua composição calcário e a argila e tem a característica de desenvolver as reações químicas, na presença da água, formando os produtos de hidratação responsáveis pela elevada resistência e durabilidade dos produtos a base de cimento.

Quando o cimento é hidratado uma série de reações químicas é iniciada, as quais são responsáveis pelo enrijecimento e resistência do material em função do tempo. As reações de hidratação ocorrem basicamente segundo a ilustração figura 1 <sup>(2)</sup>.

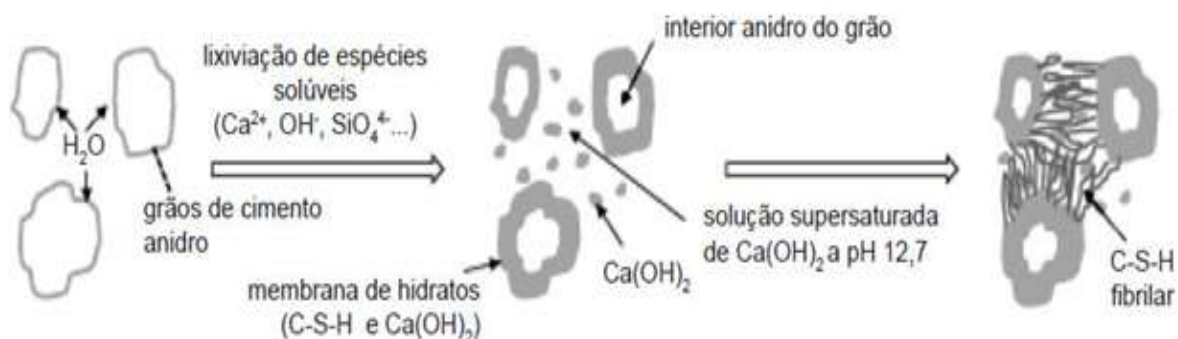


Figura 1 - Reações de hidratação das partículas de cimento <sup>(2)</sup>.

As reações entre o carbonato de hidratação entre o cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), e os demais componentes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , etc.) formam silicatos e aluminatos, que são responsáveis pelas características dos materiais cimentícios <sup>(3)</sup>.

Os principais silicatos formados na calcinação do calcário e da argila, são:

- silicato dicálcico  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{C}_2\text{S}$ )
- silicato tricálcico  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{C}_3\text{S}$ )
- aluminato tricálcico  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_3\text{A}$ )
- ferro aluminato tetracálcico  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) <sup>(3)</sup>.

Com o desenvolvimento das cidades a procura por moradias aumentou e nos últimos anos houve um grande consumo do cimento na construção civil <sup>(4)</sup>. A

produção de cimento é responsável por aproximadamente 7% da emissão de CO<sub>2</sub> no planeta.

Com o desenvolvimento econômico e a necessidade desta população adquirir bens de consumo também as indústrias metalúrgicas aceleraram suas produções nos últimos tempos. Este aumento traz consigo um considerável problema ambiental por conta da grande quantidade de resíduos industriais, entre eles está a areia de fundição<sup>(5)</sup>.

Os elevados custos de descarte da areia de fundição e a preocupação em dar um destino mais apropriado a este rejeito estimulou várias pesquisas. Como aquelas que visam a utilização da areia descartada de fundição em produtos utilizados na construção civil (pavimentação, asfaltos entre outras aplicações)<sup>(6)</sup>.

Estudos indicaram um aumento das propriedades de resistência, através da inclusão de ADF como substituição parcial do agregado fino (areia) em concretos e argamassas que podem ser eficazmente utilizados na fabricação de materiais de construção<sup>(7)</sup>.

O potencial para a reciclagem de areias de fundição, dependendo da sua composição situa-se entre 50 e 98%[5]. Nos Estados Unidos a areia de fundição é utilizada em aterros e camada de estradas, fabricação de aglomerantes hidráulicos (fundações de estradas e inclusão de asfalto) fabricação de tijolos, telhas, cimento, etc<sup>(8)</sup>. Segundo a Sociedade Americana de Fundição que é a principal sociedade dos EUA a areia de fundição é considerado um "material alternativo", que pode ser substituído por matérias-primas virgens. As matérias-primas usadas na fabricação de cimento Portland tem de conter proporções adequadas de óxido de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro. Misturas de cimento Portland contêm tipicamente 10-12% de sílica, em peso, e de alumina e óxidos de ferro (2-5% em peso). Estes componentes minerais são componentes importantes da maioria das areias de fundição, o que pode, portanto, substituir os minerais virgens. Um estudo da Sociedade Americana de Fundição indicaram que o cimento Portland fabricados com areia de fundição podem apresentar maior resistência à compressão do cimento Portland feitos com matérias-primas convencionais<sup>(8)</sup>. Na Índia, cerca de 2 milhões de toneladas de resíduos de areia de fundição é produzido anualmente sendo um subproduto importante da indústria de fundição de metal e utilizado como um material de enchimento de terra, durante muitos anos<sup>(9)</sup>.

Por outro lado pesquisas indicam que as concentrações de metais pesados de lixiviação para clinkers deve manter limites regulamentares desenvolvidas pela Agência de Proteção Ambiental de Taiwan, demonstra a viabilidade e segurança na utilização de resíduos de fundição em areia aditivos para cimento<sup>(10)</sup>.

A maioria da composição química das areias de fundição contém SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Al e FeO, todos os quais podem ser encontrados na produção de cimento.

Este trabalho tem como objetivo estudar o efeito da adição de areia descartada de fundição (ADF), proveniente do processo de moldagem, na fabricação de argamassa. E

e verificar se a ADF poderia ser utilizado como matéria prima para a indústria de cimento<sup>(11)</sup>.

Para este estudo foram desenvolvidos testes baseados nas normas de fabricação de materiais cimentícios onde os corpos de prova padrões foram comparados aos confeccionados com adição do resíduo de areia descartada de fundição. Ensaio laboratoriais foram desenvolvidos para avaliar as propriedades e características físicas e mecânicas dos corpos de prova.

Os resultados mostram um aumento no índice de resistência da argamassa tanto de flexão como de compressão. Também foi avaliada a atividade posolânica da argamassa, onde o índice ficou em 45% abaixo dos 75% que a norma estipula, para que o material seja considerado material cimentício. O aumento de resistência a compressão e flexão ocorreu pelo efeito de empacotamento, do tamanho das partículas e tempo de cura das amostras de argamassa.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Material

A pesquisa teve início com a coleta do resíduo em uma indústria metalúrgica, uma das maiores do Brasil localizada em Joinville SC. O resíduo de areia de fundição foi submetido à moagem com esferas de alumina no moinho “periquito” por 15 minutos e passada em peneira ABNT nº 325 mechs. Também foi utilizado cimento Portland, areia, cal e água para hidratação.

### 2.2. Caracterização do resíduo

Para a caracterização do resíduo foi utilizado os seguintes ensaios:

a) Ensaio de perda ao fogo: Para a realização deste ensaio foi utilizado uma amostra do material seco. Realizou-se a queima, na temperatura a 1000°C, partindo temperatura ambiente. Após queima e resfriamento ao ar a amostra foi pesada para o calculo da perda ao fogo, através da equação:

$$PF(\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \cdot 100$$

Onde **PF** é a porcentagem de perda ao fogo em **M<sub>F</sub>** massa final e **M<sub>S</sub>** massa inicial.

b) Microscopia Eletrônica De Varredura MEV: O ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV, Zeiss, DMS 940A). Para obter melhor contraste das imagens as amostras foram recobertas com 130 segundos de reposição de ouro, depois que recomeçou a pressão de vácuo ( $3 \times 10^{-1}$ ) mbar, com corrente 38mA/amper.

c) Espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR): Os dados foram obtidos em um espectrofotômetro FTIR Shimadzu modelo 8300. Todos os espectros foram coletados no intervalo 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ , 32 varreduras e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ . Para análise de infravermelho foram preparadas pastilhas dos materiais com o uso de um pastilhador e uma prensa hidráulica manual. Na análise dos materiais obtidos foram preparadas pastilhas de aproximadamente 0,5 mm de espessura e 5 mm de diâmetro. A diluição (cerca de 10% de amostra) foi realizada em KBr.

### 2.3. Preparação dos corpos de prova

- Massa específica do resíduo

Para a realização do ensaio de massa específica do cimento foi utilizado os seguintes equipamentos de acordo com a norma NBR6474: Frasco de Lê Chatelier, funil de vidro, espátula, 60 gramas de resíduo, 250 ml de querosene, recipiente para pesagem do resíduo, balança de precisão. Experimento: Colocou-se no frasco de Lê Chatelier 250ml de querosene e fez-se a 1ª leitura. Com o auxílio de uma espátula e um funil de vidro colocou-se no frasco de vidro os 60g de resíduo. Aguardou-se até atingir o equilíbrio e fez-se a 2ª leitura.

$$\gamma = \frac{\text{massa}}{L_f - L_o} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \gamma = \frac{\text{massa}}{\text{vol. grãos}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Portanto o volume do resíduo será:  $L_f - L_o$

- Massa unitária do resíduo

Para a execução do ensaio de massa unitária do resíduo utilizou-se um recipiente, pesou-se ( $P_1$ ) e preencheu-se com resíduo deixando cair de uma altura de aproximadamente 10cm e pesou-se novamente ( $P_2$ ).  $P_1 - P_2$  = massa de resíduo contido no recipiente.

$$d = \frac{P_2 - P_1}{\text{Vol. recipiente}} \text{ (kg/l)} \quad d = \frac{\text{massa}}{\text{Vol. recipiente}} \text{ (kg/l)}$$

- Elaboração das Argamassas

Primeiramente, foram preparadas argamassas padrão (referência) com cimento e areia em massa, medidos em balança com precisão de 0,1 g com a relação a/c = 0,48. Esta mesma relação foi utilizada no ensaio de determinação de resistência à compressão do cimento Portland conforme a NBR 7215/96 <sup>(12)</sup>. As argamassas foram misturadas em forma mecânica em batedeiras de duas velocidades, de acordo com as indicações da NBR 7215/96 <sup>(12)</sup>.

Na fabricação da argamassa com ADF, empregou-se a mesma proporção e foi o traço fixado em 1-1,042-8, em massa. Para a água foi mantida a razão 0,896. O cimento foi substituído por resíduo de areia de fundição a uma taxa de 20% em peso.

Todos os corpos de prova foram lançados em moldes padrão e removido depois de 24h, em seguida, curadas em saturado água de cal. Resistência à compressão da argamassa foram determinado na idade de 28 dias.

- Consistência da argamassa com o resíduo

A consistência da argamassa com o resíduo de ADF foi determinada pelo ensaio de escorregamento da argamassa sobre a mesa de queda ou *Flow Table*. Moldou-se a argamassa num corpo de prova de formato de tronco e cone em 3 camadas com 25 golpes cada, sobre uma plataforma lisa capaz de promover quedas de 14mm de altura. No ensaio foram executadas trinta quedas em trinta segundos.

- Determinação da resistência à tração por compressão da argamassa

Foi determinada a resistência à tração por compressão diametral da argamassa segundo as indicações da NBR 7222/94<sup>(10)</sup>. Foram moldados três corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura e testados com a idade de 28 dias.

- Atividade pozolânica

A atividade pozolânica do resíduo de areia de fundição foi avaliada por meio da determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), conforme NBR 5752 (1992) da ABNT. O índice de atividade pozolânica é definido utilizando-se a equação:

$$IAP = \frac{f_{cp}}{f_{cc}} \times 100$$

Onde:  $f_{cp}$  = resistência à compressão média, aos 28 dias, dos corpos-de-prova moldados com cimento Portland e resíduo de areia de fundição;

$f_{cc}$  = resistência à compressão média, aos 28 dias, dos corpos-de-prova moldados somente com cimento Portland.

- Índice de vazios e absorção de água

O ensaio para determinação da massa específica, índice de vazios e absorção de água foi realizado de acordo com a norma NBR 9778:2005. A absorção de água, o índice de vazios e a massa específica da amostra seca foram definidas pelas equações A-C

$$A = \left( \frac{m_{sat} - m_i}{m_i} \right) 100 \quad (A) \quad Iv = \left( \frac{m_{sat} - m_i}{m_{sat} - m_i} \right) 100 \quad (B) \quad \rho_i = \left( \frac{m_i}{m_{sat} - m_i} \right) \quad (C)$$

Onde: A: absorção (%); Iv: índice de vazios (%);  $\rho_i$ : massa específica do concreto seco ( $g/cm^3$ );  $m_s$ : massa da amostra seca em estufa (g);  $m_{sat}$ : massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g);  $m_i$ : massa da amostra saturada imersa em água após fervura (g).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o ensaio de FTIR utilizado para caracterizar a areia, a banda em torno de  $1032cm^{-1}$  é similar com a areia comum e seu alargamento é devido a sobreposição com a banda da bentonita<sup>(13)</sup>. Nesta região também encontra-se a banda  $1162cm^{-1}$  referente a provável presença do carvão. A banda  $3632cm^{-1}$  é referente ao estiramento O-H. A banda em  $3403cm^{-1}$  e  $1627cm^{-1}$  refere-se a presença de água no material. A banda em  $582cm^{-1}$  refere-se a presença do Si-O e entre  $693cm^{-1}$  e  $795cm^{-1}$  são bandas características da presença de

quartzo<sup>(13)</sup>.

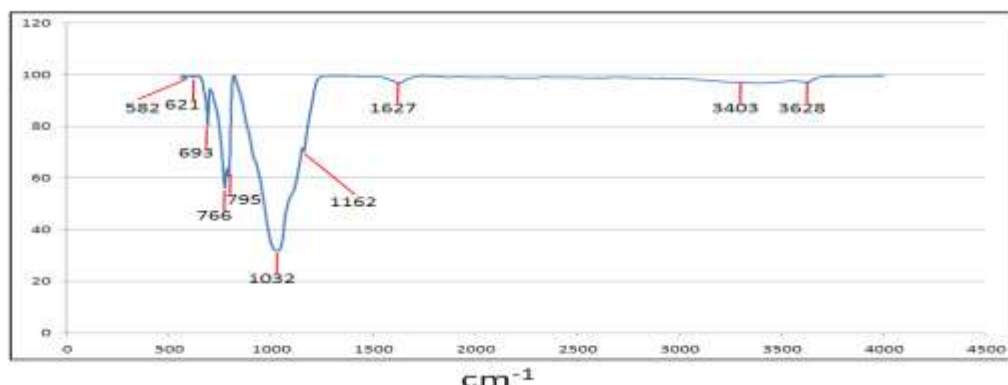


Figura 2 - Espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

O resultado do ensaio de perda ao fogo da areia de fundição ADF do processo de moldagem (ver tabela 1), evidenciou que não houve perda de massa significativa, não chegando a 1%, o que evidencia que o material analisado não possui material orgânico ou materiais voláteis <sup>(14)</sup>.

Tabela 1 - Resultado do ensaio de perda ao fogo da areia de fundição ADF

|                                                  |        |                     |
|--------------------------------------------------|--------|---------------------|
| cadinho                                          | 16,96g | 37,35g              |
| areia                                            | 29,39g |                     |
| Perda ao fogo                                    |        | 36,52g              |
| <b>Diferença massa inicial menos massa final</b> |        | <b>0,83 = 0,31%</b> |

Analisando a microestrutura da areia de fundição, figura 3, é possível observar a presença de argila cobrindo os grão de quartzo, que se diferenciam em aparência e tamanho.

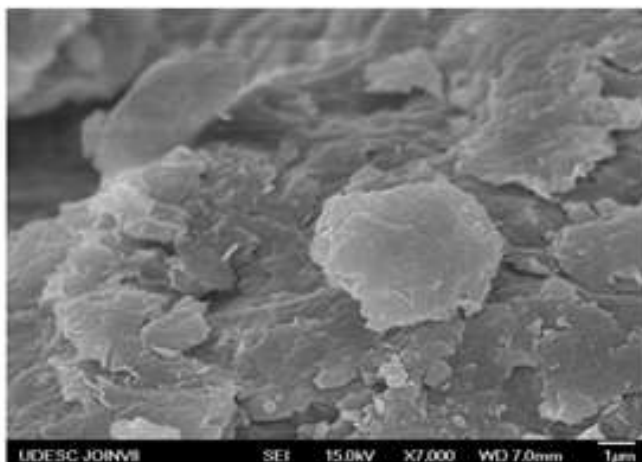


Figura 3 - Imagem microestrutura da areia de fundição antes da moagem

A análise da composição química realizada pontualmente nos dois grão (figura 4), diferenciados pelo aspecto, é possível identificar a presença de Si, Al, Mg, Fe, Na e pequenos picos de K, produtos encontrados na composição de materiais cimentícios (14).

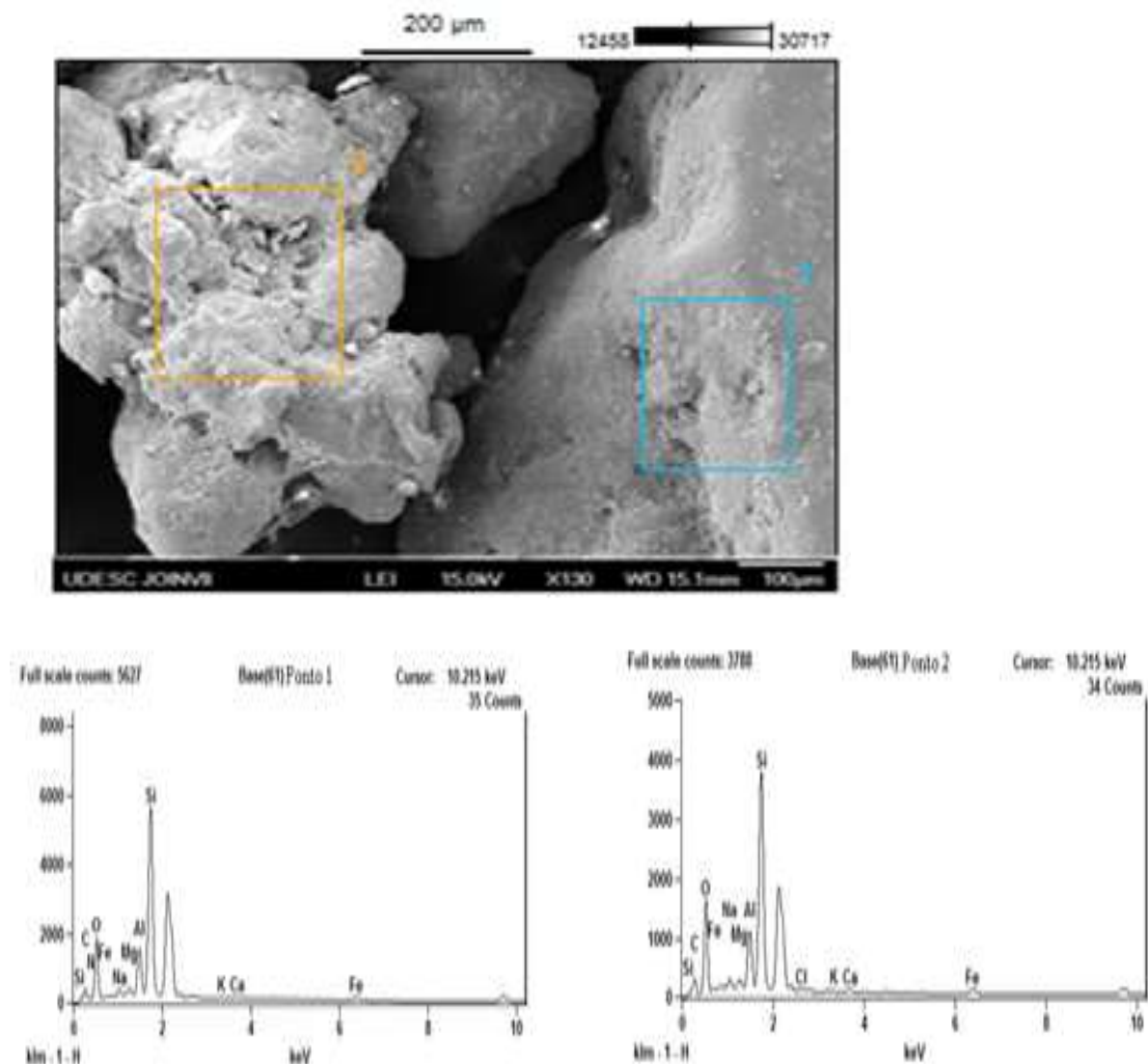


Figura 4 - Imagem microestrutura da areia de fundição moída e passada em peneira 325 mechs

Os picos de Al encontrados na amostra moída e peneirada, inicialmente foi associada a possível contaminação pelos cadinhos de alumina onde a mesma foi moída no moinho de bolas. Esta hipótese foi eliminada após constatar que a presença de Al também foi encontrada nas análises pontuais realizadas na areia de fundição antes da moagem de acordo com a figura 5.

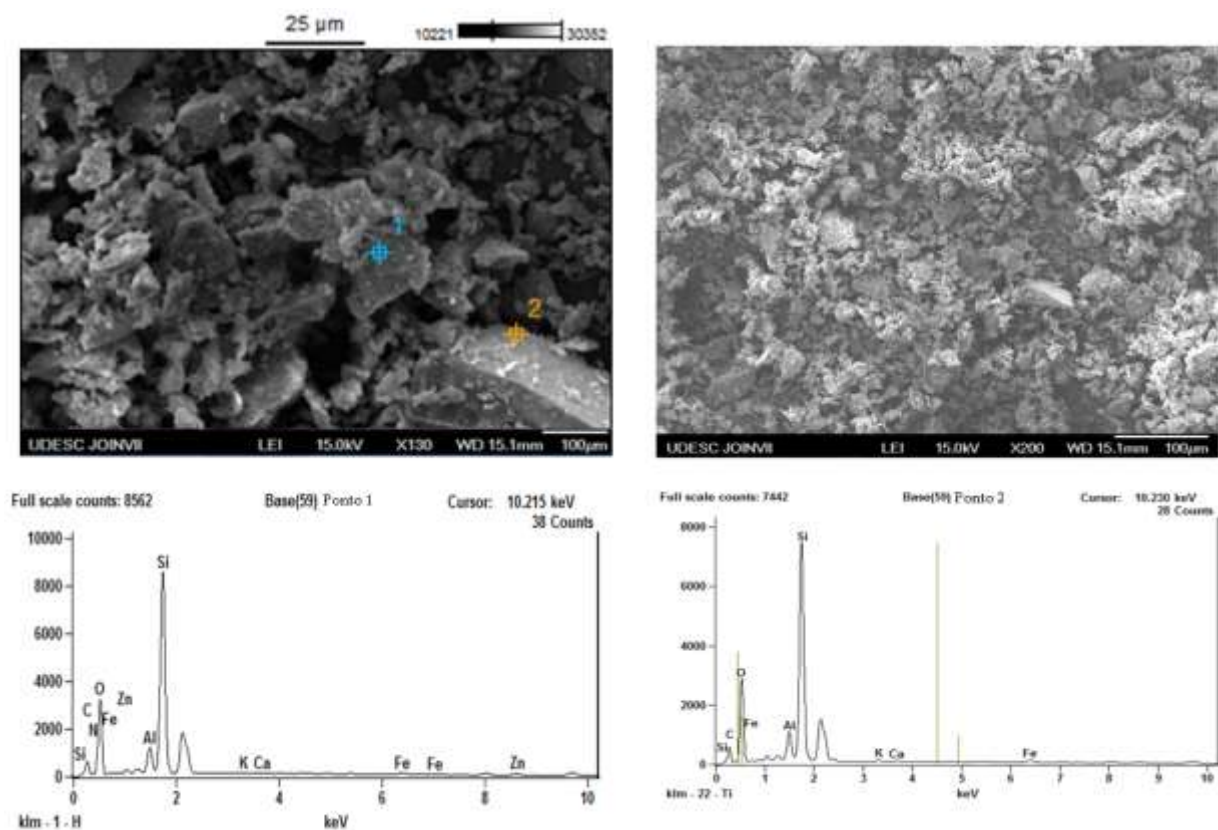


Figura 5 - Imagem microestrutura da areia de fundição moída e passada em peneira 325 mechs

### 3.3 Atividade pozolânica

A Tabela 2 mostra a atividade pozolânica da argamassa com adição do resíduo. O índice de atividade pozolânica, tal como determinado ASTM C 311 é definida como uma proporção (em percentagem) da resistência à compressão da argamassa misturada com resíduo de areia de fundição. A resistência à compressão da argamassa padrão (referência) na idade de cura de 28 dias é de 0,55 mPa. De acordo com a norma ASTM C 618, o resíduo de areia de fundição não pode ser utilizado como material pozolânico porque ela não produz índices de atividade pozolânica superior a 75% com as idades de 28 dias. Apesar da ADF conter os produtos químicos que compõem os materiais considerados pozolanicos, a reação pozolânica é baixa possivelmente por estes elementos, principalmente a sílica, apresentar-se em estado cristalino. Colocar valores do ensaio.

### 3.4 Resistência à compressão e flexão da argamassa

Pode-se observar que o grau de finura da ADF desempenha um papel importante na resistência índice de atividade de argamassa, pois a resistência aumenta de acordo com a finura do material. De acordo com a revisão da literatura a resistência da argamassa com resíduo de areia de fundição é atribuído pelo efeito de empacotamento<sup>(15)</sup>. O tamanho das partículas influenciam nas propriedades pozolânicas na densidade e fator de empacotamento do material<sup>(16)</sup>. Estas características tendem a melhorar a resistência da argamassa, bem como a sua

densidade<sup>(17)</sup>. Os testes de atividade pozolânica da argamassa com adição de 20% de ADF deram resultados negativos para atividade pozolânica, então concluiu-se que o aumento nas propriedades da argamassa é resultado do efeito de empacotamento.

O efeito de empacotamento é o resultado onde pequenas partículas preenchem os espaços vazios contribuindo para o aumento da resistência, sem qualquer reação química. Quanto menor o tamanho das partículas de material, maior o efeito de empacotamento. Para determinar o efeito de empacotamento e de reação pozolânica, dois tipos de argamassa, foram desenvolvidas, argamassa padrão com Portland cimento do tipo I, argamassa com resíduo, substituindo 20% do cimento Portland Tipo I. O efeito de empacotamento foi determinado pela diferença na resistência à compressão entre as argamassas de material padrão com resíduo de areia de fundição, com a mesma idade de cura.

A reação pozolânica foi calculada pela diferença de força de compressão na idade de cura entre as argamassas. Testes foram realizados para verificar o desempenho mecânico e físico do produto solidificado e os resultados sugerem que a adição de ADF como pode ser utilizada como um aditivo que aumenta o desempenho de resistência a flexão de compressão da argamassa em comparação com a argamassa padrão<sup>(18)</sup>.

A relação entre a resistência à compressão das argamassas padrão e com adição de ADF é mostrado nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Resistência à flexão da argamassa padrão e com adição de 20% de ADF

Máquina: Emic PC200 Célula: Trd 30 Extensômetro: - Data: 22/10/2012 Hora: 08:32:46  
Programa: Tesc versão 1,13 Método de Ensaio: Flexão a 3 Ptos - argamassa 4x4x16cm  
Ident, Amostra: Idade / Slump: 28 dias

| Corpo de prova | Força máxima (N) |        |        | Tensão máxima(MPa) |         |        | Taxa(Mpa/s) |         |        |
|----------------|------------------|--------|--------|--------------------|---------|--------|-------------|---------|--------|
|                | padrão           | 20%ADF | Dif, % | padrão             | 20%ADF  | Dif, % | padrão      | 20%ADF  | Dif, % |
| CP 1           | 969              | 1399   | 44%    | 2,2700             | 3,2800  | 44%    | 0           | 0       | -      |
| CP 2           | 1076             | 969    | -10%   | 2,5200             | 2,2700  | -10%   | 0           | 0       | -      |
| CP 3           | 861              | 1184   | 38%    | 2,0200             | 2,7700  | 37%    | 0           | 0,1     | -      |
| Média          | 968,7            | 1184   | 22%    | 2,2700             | 2,7750  | 22%    | 0,02393     | 0,04961 | 107%   |
| Mediana        | 968,7            | 1184   | 22%    | 2,2700             | 2,7750  | 22%    | 0,02163     | 0,03769 | 74%    |
| Desv,Padrão    | 107,6            | 215,3  | 100%   | 0,2523             | 0,5045  | 100%   | 0,00482     | 0,03151 | 554%   |
| Coef,Var,(%)   | 11,11            | 18,18  | 64%    | 11,1100            | 18,1800 | 64%    | 20,14       | 63,52   | 215%   |
| Mínimo         | 861              | 968,7  | 13%    | 2,0180             | 2,2700  | 12%    | 0,02069     | 0,02579 | 25%    |
| Máximo         | 1076             | 1399   | 30%    | 2,5230             | 3,2790  | 30%    | 0,02947     | 0,08534 | 190%   |

Tabela 3 : Resistência à compressão da argamassa padrão e com adição de 20% de ADF

Máquina: Emic PC200 Célula: Trd 30 Extensômetro: - Data: 22/10/2012 Hora: 08:32:46  
Programa: Tesc versão 1,13 Método de Ensaio: Compressão argamassa 4x4x16cm  
Ident, Amostra: Idade / Slump: 32 dias

| Corpo de prova | Área (mm <sup>2</sup> ) |        | Força máxima (N) |         |        | Tensão máxima(MPa) |        |        | Taxa(Mpa/s) |         |        |
|----------------|-------------------------|--------|------------------|---------|--------|--------------------|--------|--------|-------------|---------|--------|
|                | padrão                  | 20%ADF | padrão           | 20%ADF  | Dif, % | padrão             | 20%ADF | Dif, % | padrão      | 20%ADF  | Dif, % |
| CP 1           | 1600                    | 1600   | 7211,22          | 9256,19 | 28%    | 4,51               | 5,79   | 28%    | 0,1         | 0       | -      |
| CP 2           | 1600                    | 1600   | 8825,67          | 10224,9 | 16%    | 5,52               | 6,39   | 16%    | 0           | 0,1     | -      |
| CP 3           | 1600                    | 1600   | 6995,96          | 8179,89 | 17%    | 4,37               | 5,11   | 17%    | 0           | 0,1     | -      |
| Média          | 1600                    | 1600   | 7678             | 9220    | 20%    | 4,799              | 5,763  | 20%    | 0,04412     | 0,06549 | 48%    |
| Mediana        | 1600                    | 1600   | 7211             | 9256    | 28%    | 4,507              | 5,785  | 28%    | 0,03448     | 0,07666 | 122%   |
| Desv, Padrão   | 0                       | 0      | 1000             | 1023    | 2%     | 0,625              | 0,6393 | 2%     | 0,02428     | 0,03457 | 42%    |
| Coef, Var, (%) | 0                       | 0      | 13,03            | 11,09   | -15%   | 13,03              | 11,09  | -15%   | 55,04       | 52,78   | -4%    |
| Mínimo         | 1600                    | 1600   | 6996             | 8180    | 17%    | 4,372              | 5,112  | 17%    | 0,02614     | 0,02672 | 2%     |
| Máximo         | 1600                    | 1600   | 8826             | 10220   | 16%    | 5,516              | 6,391  | 16%    | 0,07175     | 0,09309 | 30%    |

A resistência à tração e compressão é maior nos corpos de prova com adição de 20% em peso, de resíduo de areia de fundição do que os corpos de prova padrão.

### 3.5 Índice de vazios e absorção de água

Entre as propriedades necessárias para obter-se um bom desempenho das argamassas está a trabalhabilidade que consiste na consistência, plasticidade; índices de absorção de água, densidade da massa, coesão e adesão <sup>(18)</sup>. A água é um elemento importante durante a hidratação do cimento mas a absorção de água pela argamassa depois da cura é um caminho para noventa por cento dos problemas de alvenaria <sup>(18)</sup>.

Ao observar a tabela 4, pode-se verificar os valores das massas específicas seca, saturada e real da argamassa com adição de resíduo de ADF, possuem o mesmo valores de desempenho da argamassa padrão. Os valores das massas específicas são inversamente proporcionais ao do Índice de vazios e a absorção de água é diretamente proporcional ao índice de vazios, tabela 5. Com base no ensaio de índice de vazios e absorção de água não houve diferença nos resultados obtidos entre as duas argamassa.

Tabela 4 : Índice de vazios e absorção de água

|         | massa seca |        | massa saturada<br>superfície seca |        | m i (saturada imersa<br>após fervura ) |        |
|---------|------------|--------|-----------------------------------|--------|----------------------------------------|--------|
| padrão  | 189,50     | 230,50 | 222,01                            | 269,48 | 117,52                                 | 142,48 |
| 20% ADF | 221,03     | 217,33 | 259,83                            | 255,1  | 136,13                                 | 133,7  |

Tabela 5 : Índice de vazios e absorção de água

| Resultados Absorção de água (%)          |        |        | Média |
|------------------------------------------|--------|--------|-------|
| padrão                                   | 17,16  | 16,91  | 17,03 |
| 20%ADF                                   | 17,55  | 17,38  | 17,47 |
| Índice de vazios %                       |        |        | Média |
| padrão                                   | 31,113 | 30,693 | 30,90 |
| 20%ADF                                   | 31,366 | 31,112 | 31,24 |
| Massa específica da amostra seca (g/cm³) |        |        | Média |
| padrão                                   | 1,81   | 1,81   | 1,81  |
| 20%ADF                                   | 1,79   | 1,79   | 1,79  |
| Massa específica da amostra saturada     |        |        | Média |
| padrão                                   | 2,12   | 2,12   | 2,12  |
| 20%ADF                                   | 2,10   | 2,10   | 2,10  |
| Massa específica real                    |        |        | Média |
| padrão                                   | 2,63   | 2,62   | 2,63  |
| 20%ADF                                   | 2,60   | 2,60   | 2,60  |

#### 4. CONCLUSÃO

De acordo como os resultados constatou-se que a argamassa produzida com a adição de ADF com o tamanho de partícula reduzida, passada pela peneira 325 mechs, produz um aumento da resistência flexão e a compressão superior a argamassa padrão embora que este material não possua propriedades pozolânicas. Foi observado que apesar da ADF obter os componentes encontrados em materiais pozolânicos, possivelmente estes encontram-se em forma cristalina e não amorfo, uma das característica necessária para que haja esta reação química. A adição de ADF na argamassa aumenta a resistência do material não devido as reações de hidratação, mas devido ao efeito de empacotamento proporcionado pelo tamanho das partículas que se arranjam entre os grão aumentando assim a resistência do material. De acordo com a pesquisa realizada a ADF possui potencial para ser utilizada como aditivo, matéria prima na produção de cimento e agregado miúdo na fabricação de argamassas porem mais estudos e pesquisas seriam necessárias para a utilização da ADF para estes fins.

#### REFERÊNCIAS

(1) MERVE H. B. DEVECI **N.A.** *The effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the mechanical, leaching and micro-structural characteristics of ready-mixed concrete* Chemical. Engineering Depart ment, Istanbul Technical University, aslak 34469, İstanbul, Turkey Volume 35 , October 2012.

(2) PREDIS Dans le cadre du. *Acheteurs de matières premières secundaries. Bourse des déchets; les travaux des industriels du Nord-Pas-de-Calais, ont permis la réalisation de guides pour la valorisation de ces produits : le guide spécifique sur les scories*: 2008.

(3) CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS. *Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete*. Volume 26, Issue 1, January 2012.

[4] OHN, V.M.J. *Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil*. In: *Seminário Desenvolvimento Sustentável E A Reciclagem Na Construção Civil*, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, IBRACON, 1999.

(5) CARASEK Helena. *Materiais de Construção Civil - Argamassas*. Universidade Federal de Goiás.

(6) CARNIN Raquel Luísa Pereira. *Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas*. Curitiba PR, 2008.

(7) CAVALHEIRO, Elizeu. *Análise de areia - principais ensaios e importâncias*. FURB, 2011.

(8) ALONSO R. S.; COZ A.; VIGURI JR; ANDRÉS A. *Recycling of foundry by-products in the ceramic industry: Green and core sand in clay bricks*. *Construction and Building Materials*. Volume 27, Issue 1 , February 2012.

(9) BIGAS JP, JL Gallias. *Effect Additions of fine minerals in granular packing cement mixes*, Mag Concr. 2002.

(10) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão*. NBR 7215, 1997.

(11) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. NBR 5739, 1994.

(12) TATE Michael. *The most important property of cement-lime mortar in masonry construction*. *International Building Lime Symposium 2005*. Orlando, Florida, March 9 -11, 2005

(13) LYRA J. S. et al. *Consolidation of polycarboxylates containing cement pastes: a calorimetric and rheological study*. *Cerâmica vol.58 no.346* .São Paulo Apr./June 2012

(14) DUBOIS C., et al. *Renforcement de la compétitivité des produits en béton par l'utilisation de sous produits industriels tels que les sables de fonderie = Enhancing the competitiveness of concrete products by using industrial by-products such as foundry sand*. *Internationale Kongress der beton-und Fertigteilindustrie*, Paris , FRANCE (01/07/1996).

(15) CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS. *Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete*. Volume 26, Issue 1, January 2012.

(16) LONG K. L.; CHENG C.J.; CHENG A., CHAO S.J. *Study on recycled waste foundry sand as raw materials of cement additives*. Sustain. Environ. Res., 2012.

(17) ALONSO R. S.; COZ A.; VIGURI JR; ANDRÉS A. *Recycling of foundry by-products in the ceramic industry: Green and core sand in clay bricks*. Construction and Building Materials. Volume 27, Issue 1 , February 2012.

(18) FOUNDRY SOCIETY. *Technical & Management. Foundry Sand in Portland Cement Concrete* American. 1695 North Penny Lane Schaumburg, 2013.