

UMA ALTERNATIVA PARA REUTILIZAÇÃO DE AREIA DE MACHARIA E ESCÓRIA PARA FABRICAÇÃO DE MASSA DE CONCRETO

E. S. RUFINO ⁽¹⁾, A. G. S. GALDINO ⁽²⁾

**(1) FATEC Arthur de Azevedo, Rua Ariovaldo Silveira Franco, 567 - Jardim 31
de Março - Mogi Mirim - SP - Cep: 13801-005**

ederrufino@yahoo.com.br

**(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo –
IFES, Rua Duque de Caxias, 194A – Bairro Carapina –
São Mateus – ES – Cep: 29.933-030**

RESUMO

O grande volume de resíduos sólidos gerados diariamente pelas indústrias de transformação de metais vem causando grandes danos ao meio ambiente. Esse trabalho objetivou desenvolver uma alternativa para reutilizar resíduos de fundição tais como escória de fornos a indução e areia calcinada de macharia, com adição de resina em pó de Poli (cloreto de vinila) (PVC) e um aditivo plastificante líquido (Sulfonol) na composição da massa de concreto, onde a intenção é reduzir a absorção de água no material e melhorar suas propriedades físicas e mecânicas. Os resíduos foram cedidos pela empresa TRW Automotive Ltda. Foram desenvolvidas quatro formulações pelo método de Souza Santos, com dez corpos de prova por formulação. Estes foram curados por 28 dias e submetidos a ensaios físicos e mecânicos. Os resultados estão em acordo com a literatura.

Palavras Chave: resíduos sólidos industriais, concreto, reciclagem.

INTRODUÇÃO

A necessidade ambiental de reciclar resíduos industriais tem motivado e ampliado cada vez mais à pesquisa científica e a busca por novas tecnologias, com o intuito de diminuir o impacto ambiental e gerar produtos alternativos para serem usados comercialmente. ^(1, 2)

Segundo a norma da ABNT/CETESB – Resíduos Sólidos – Classificação NBR 10004 (ABNT, 2004), cuja classe é II - A – não perigoso e não inerte, se dá em aterros sanitários por não ter mais utilidade para as empresas, e por ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

A grande disputa por mercado não admite mais que empresas negligenciem questões como desperdício de materiais, gestão ineficiente dos processos de produção e, mais recentemente, a emissão, controle e reciclagem dos seus resíduos. ^(1, 2)

Atualmente esta questão tem enorme importância para o desenvolvimento sustentável, que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer as gerações futuras. Atingindo uma condição aceitável de desenvolvimento social, econômico e de realização humana que preserve os recursos da terra, mantendo as funções e componentes do ecossistema equilibrados, para manter uma adequada condição de vida para as pessoas e outros seres vivos. ^(1, 2)

Este trabalho teve por objetivos:

- Analisar a possibilidade da reutilização de resíduos sólidos de fundição (areia calcinada de macharia e escória de forno a indução) na fabricação de massa de concreto.
- Realizar ensaios físicos de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente e mecânico de resistência à compressão para comparar os resultados com produtos atualmente comercializados e fabricados de acordo com as normas da ABNT.
- Diminuir a absorção de água utilizando resina em pó de Poli (cloreto de vinila) (PVC).

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

A resina de Poli (cloreto de Vinila) (PVC) utilizada neste trabalho foi fabricada pela Braskem S/A, Unidade São Paulo, Rua Guamiranga, 1674, São Paulo – SP.

O Aditivo Sulfonol utilizado neste trabalho foi fabricado pela QGP Química, Estrada João Hermano Pessin, Km 5,5 - Laranjal Paulista – SP.

As areias podem ser definidas como grãos de material mineral na faixa de 0,05 a 2,00 mm, resultantes de fratura e decomposição das rochas pela ação das águas, ventos, gelos, erosões ao longo dos séculos.

Possuem basicamente, composições de sílica (SiO_2), podendo também estar associadas a diversos minerais, tais como ilmenita, a magnesita, a olivina e outros.

A areia calcinada de macharia utilizada no trabalho foi coletada na Fundição da TRW Automotive Ltda, Planta de Engenheiro Coelho – SP, localizada na Rodovia SP 332 km 162, Distrito Industrial, com um descarte médio de 69,8 toneladas por ano, conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de areia calcinada descartada por ano (TRW Automotive Ltda planta Engenheiro Coelho – SP)

Resíduo	Quantidade por ano em toneladas						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Areia Calcinada	68,5	63,2	88,7	45,6	91,0	60,6	71,5
Média	69,8						

A escória é um subproduto da fundição e pode ser considerada uma mistura de óxidos retiradas dos banhos metálicos, através da aplicação de escorificantes nos fornos a uma temperatura média de 1500 °C, embora possa conter sulfitos metálicos e átomos de metais na sua forma elementar.

A escória de forno a indução utilizada no trabalho foi coletada na Fundição da TRW Automotive Ltda, Planta de Engenheiro Coelho – SP, localizada na Rodovia

SP 332 km 162, Distrito Industrial, com um descarte médio de 1.934 toneladas por ano, conforme demonstra a Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de escória descartada por ano (TRW Automotive Ltda planta Engenheiro Coelho – SP)

Resíduo	Quantidade por ano em toneladas						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Escória de forno a Indução	1.812	1.939	2.271	2.083	1.491	1.872	2.070
Média	1.934						

MÉTODOS

A mistura das formulações foi definida com base na comparação da composição do concreto comercial atualmente utilizado. Na massa da formulação do proposto 1 foi colocado areia calcinada de macharia peneirada em peneira de malha ABNT nº 80, escória triturada em moinho de bolas por 40 min. e peneirada em peneira de malha ABNT nº 80, resina de Poli (cloreto de vinila) (PVC), Aditivo Sulfonol, cimento, areia e água.

As massas dos corpos de prova foram umedecidas e misturadas por 10 min. Não se utilizou pedra ou brita na mistura devido às dimensões do molde que possui 12,10 mm de diâmetro e 35 mm de altura. Em seguida foram confeccionados 10 corpos de prova para cada formulação proposta com 12,10 mm de diâmetro e 24,20 mm de comprimento conforme norma da ABNT para comparação dos resultados, os corpos de prova foram prensados a 2,5 t em prensa hidráulica no Laboratório de Biomateriais Mecânicos Labiomec da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp.

Em seguida os corpos de prova foram colocados em uma placa cerâmica e deixados no laboratório em temperatura ambiente para aguardar o tempo de cura de 28 d. e depois foram submetidos a ensaios mecânicos de resistência à compressão com 28 d de cura, e físicos de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente com 7 e 28 d.

Para verificar a reação de cada material nas propriedades físicas e mecânicas da massa de concreto foram feitas três formulações, onde foi adicionado na massa do padrão escória, areia de macharia e resina de (PVC) separadamente, como demonstra a Tabela 3.

Tabela 3 – Formulações.

Elementos constituintes	Padrão	Formulação do Proposto1	Formulação do Proposto2	Formulação do Proposto3	Formulação do Proposto4
Cimento	13,51 %	10,0%	13,51%	13,51%	13,51%
Escória	0 %	4,0%	0 %	0 %	4,0%
Areia	32,43 %	16,0%	16,00 %	32,43 %	32,43%
Areia calcinada	0 %	16,0%	16,00%	0%	0%
Resina de (PVC)	0 %	4,0 %	0%	4,0%	0%
Água	10,81 %	10,0 %	10,81 %	10,81 %	10,81 %
Aditivo Plastificante	0,2 % em relação a % cimento	0,3% em relação a % cimento	0,2% em relação a % cimento	0,2% em relação a % cimento	0,2% em relação a % cimento

MÉTODOS

Os resultados físicos foram obtidos através da média aritmética de 5 corpos de prova e foram calculadas através das equações (A), (B) e (C) respectivamente úmido ^[9].

$$AA(\%) = \left(\frac{P_U - P_S}{P_S} \right) \cdot 100 [A]$$

$$DA(g/cm^3) = \left(\frac{P_S}{P_U - P_I} \right) \cdot 100 [B]$$

$$PA(\%) = \left(\frac{P_U - P_S}{P_U - P_I} \right) \cdot 100 [C]$$

Onde P_I é o peso imerso, P_S é o peso seco e P_U é o peso úmido [6].

Os corpos de provas foram confeccionados conforme a exigências da NBR 5738 (ABNT, 2003), que devem ter altura igual ao dobro do diâmetro.

Os resultados foram obtidos através da média aritmética de 5 corpos de prova e calculadas através das equações (D) e (E), conforme NBR 5739 (ABNT, 2007).

$$S (mm^2) = \frac{\pi \cdot D^2}{4} [D]$$

$$T(MPa) = \frac{F}{S} [E]$$

Onde D é o diâmetro do corpo de prova, F é à força de compressão, S é a área da seção do corpo de prova e T é a tensão de compressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ENSAIOS FÍSICOS

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios físicos de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA), dos corpos de prova do padrão, e das formulações do proposto 1, proposto 2, proposto 3 e proposto 4 com tempo de cura de 7 d.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios físicos de 7 d.

Material	AA (%)	PA (%)	DA (%)
Padrão	5,75 ± 0,22	12,76 ± 0,48	2,22 ± 0,03
Proposto 1	3,97 ± 0,12	8,87 ± 0,26	2,23 ± 0,01
Proposto 2	NA	NA	NA
Proposto 3	4,58 ± 0,11	10,19 ± 0,28	2,22 ± 0,01
Proposto 4	3,79 ± 0,37	8,14 ± 0,74	2,15 ± 0,02

NA = Não Avaliado

O proposto 2, ao absorver água colapsou, não sendo possível a avaliação dos seus resultados físicos.

A tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios físicos de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA), dos corpos de prova do padrão, do proposto 1, proposto 3 e proposto 4 com tempo de cura de 28 d.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios físicos com 28 d.

Material	AA (%)	PA (%)	DA (%)
Padrão	5,58 ± 0,25	12,41 ± 0,58	2,22 ± 0,02
Proposto 1	3,92 ± 0,26	8,75 ± 0,56	2,23 ± 0,01
Proposto 3	6,42 ± 1,13	14,09 ± 2,09	2,21 ± 0,09
Proposto 4	5,73 ± 0,25	12,09 ± 0,41	2,11 ± 0,02

O gráfico da Figura 1 a seguir demonstra as tendências das composições propostas e do padrão em relação ao ensaio físico de absorção de água com 7 e 28 d.

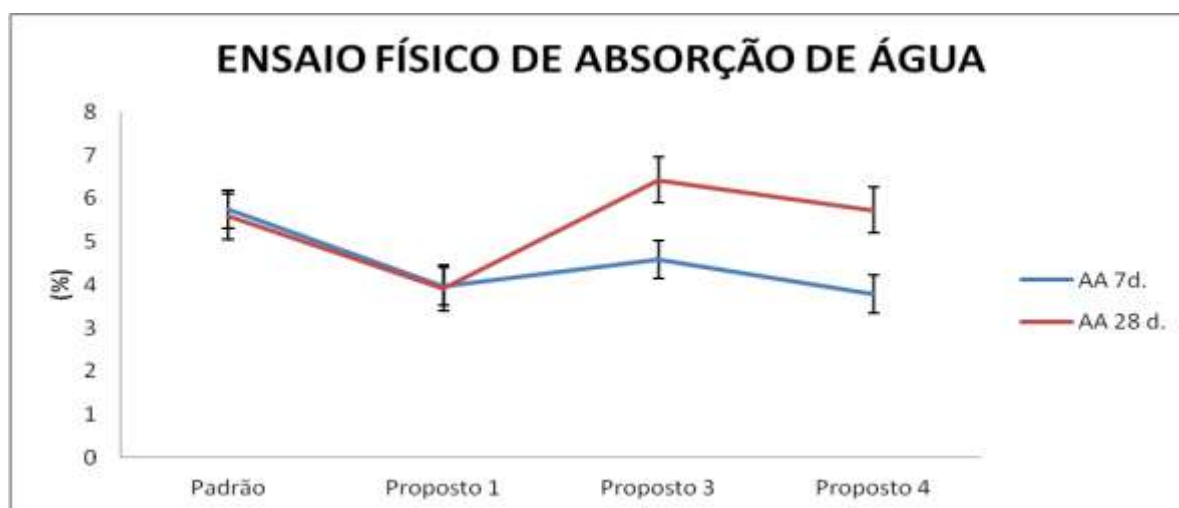


Figura 1 – Gráfico de resultados de ensaio físico de (AA).

O gráfico da Figura 2 a seguir demonstra as tendências das composições propostas e do padrão em relação ao ensaio físico de porosidade aparente com 7 e 28 d.

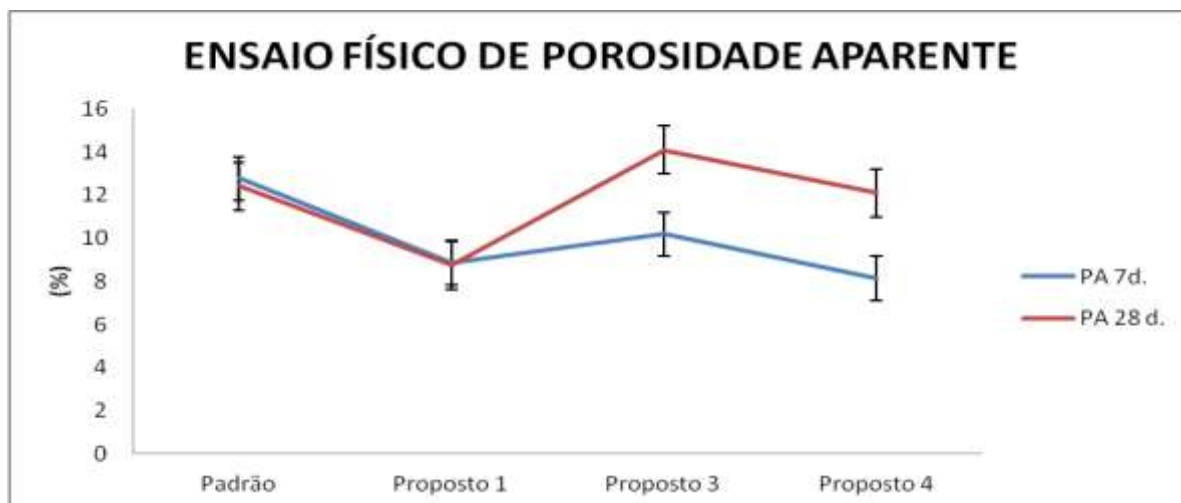


Figura 2 – Gráfico de resultados de ensaio físico de (PA).

O gráfico da Figura 3 a seguir demonstra as tendências das composições propostas e do padrão em relação ao ensaio físico de densidade aparente com 7 e 28 d.

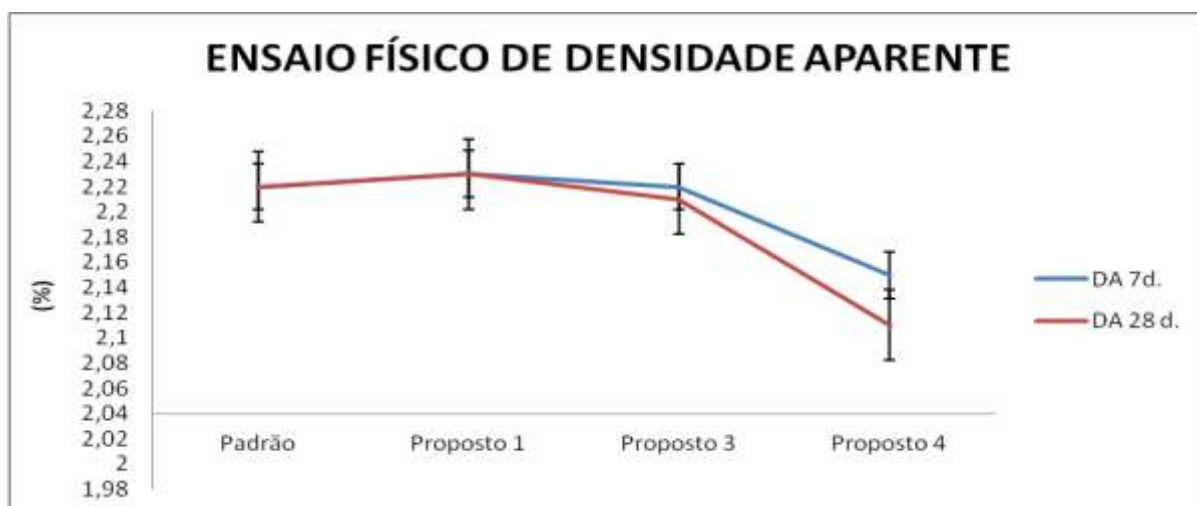


Figura 3 – Gráfico de resultados de ensaios físicos de densidade aparente (DA).

ENSAIOS MECÂNICOS

A Tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos, dos corpos de prova do padrão, do proposto 1, proposto 3 e proposto 4 com tempo de cura de 28 d.

Tabela 8 – Resultados ensaio mecânico.

Corpo de Prova	Data de moldagem	Idade do corpo de prova	Data do ensaio	Limite de Resistência (MPa)	Tipo de ruptura
Padrão	13/09/2011	28 d.	10/10/2011	20,59 ± 2,90	Cônica e Bipartida
Proposto 1	13/09/2011	28 d.	10/10/2011	19,49 ± 2,09	Cônica e Bipartida
Proposto 3	11/10/2011	28 d.	07/11/2011	27,39 ± 2,77	Cônica e Bipartida
Proposto 4	11/10/2011	28 d.	07/11/2011	20,45 ± 3,53	Cônica e Bipartida

Este ensaio foi realizado na Unicamp no laboratório de ensaios mecânicos da FEM/Unicamp. Máquina Emic DL2000, Célula Trd 27, Extensômetro Trd 1, Programa Tesc versão 3.04 com Método de Ensaio Unicamp Compressão 3000kgf.

O gráfico da Figura 4 a seguir demonstra a tendência das composições propostas e do padrão em relação à resistência característica à compressão (f_{ck}).

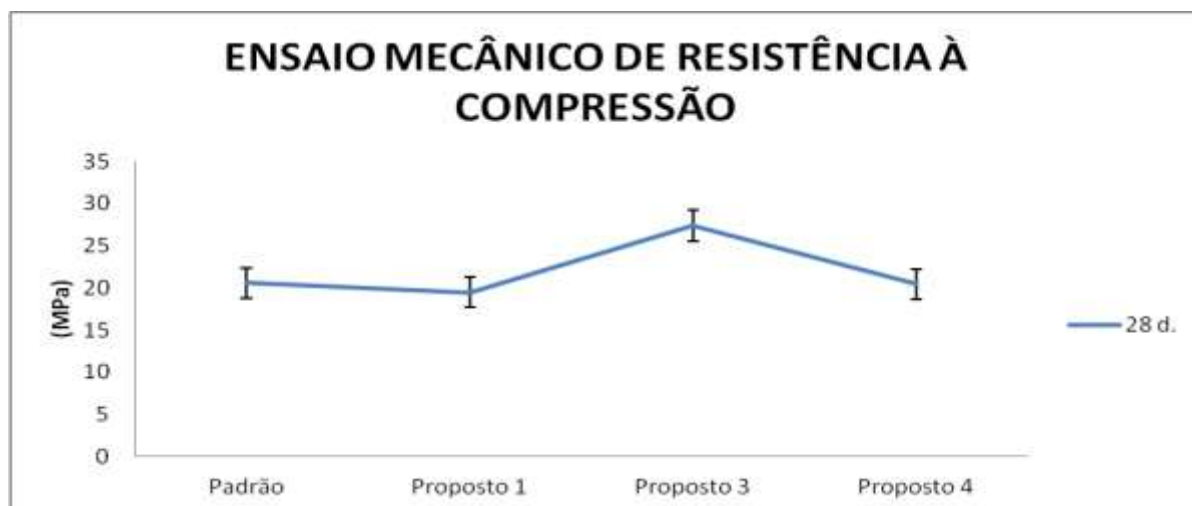


Figura 4 – Gráfico de resultados de (f_{ck}).

Os resultados das composições propostas apresentaram propriedades mecânicas semelhantes à composição do padrão atualmente utilizado na construção civil.

Os concretos são classificados em grupos de resistência, conforme a resistência característica à compressão (f_{ck}) segundo a NBR 8953 (ABNT, 2009), conforme demonstra a Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 – Classes de resistência do Grupo I (NBR 8953 ABNT, 2009).

Grupo I de resistência	Resistência característica à compressão (f_{ck})
C10	10
C15	15
C20	20
C25	25
C30	30
C35	35
C40	40
C45	45
C50	50

CONCLUSÃO

Foram estudados cinquenta corpos de prova de concreto sendo dez de massa de concreto comercial atualmente utilizado e quarenta de composições propostas, visando sua caracterização tecnológica através de ensaios físicos de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) e mecânicos de resistência característica à compressão (f_{ck}). Após os ensaios, pode-se chegar às seguintes conclusões:

a) RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS.

Comparando a formulação do proposto 1 ao padrão com tempo de cura de 28 d. em temperatura ambiente, esse apresentou uma redução de 30 % na absorção de água e 29 % na porosidade aparente, com essa significativa redução na AA e na PA a massa do concreto poderia ser usada para a moldagem de baldrame em alicerces de construções, para reduzir futuros problemas com umidade nas paredes e na fabricação de telhas de concreto devido apresentar menor absorção de água.

b) RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS.

Com base nas especificações da NBR 8953 (ABNT, 2009), a composição do proposto 1 apresentou resultados mecânicos satisfatórios para ser utilizado na construção civil, porque mesmo sem a adição de brita em sua composição demonstrou propriedades semelhantes ao concreto C20 grupo I de resistência, que possui brita em sua composição. A brita é considerada um material inerte e aumenta a resistência à compressão no concreto endurecido.

O concreto C20 é utilizado atualmente na construção civil para moldagem de pilares, vigas, lajes e fundações. Desta forma a composição do proposto 1 com adição de brita pode ser destinada para as mesmas finalidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos professores doutores Rubens Caram Júnior e Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia e ao técnico José Luis Lisboa, todos da FEM/Unicamp, pela utilização dos equipamentos sem os quais esse trabalho não poderia ter sido realizado.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos classificação**. NBR 10004: 2004.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. NBR 5739: 2007.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. NBR 5738: 2003.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. NBR 8953: 2009.
- [5] BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC 5ª Edição revisada, 2000.
- [6] GALDINO, A.G.S.; FERREIRA, H.C; MORAIS, C.R.S. **“Estudo Comparativo entre Tijolos Cerâmicos Furados Produzidos no Estado da Paraíba”**. Relatório Final CNPq/PIBIC. UFPB. Campina Grande, PB. 1996.

- [7] MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pni 1^a Edição, 1994.
- [8] SOARES, G. A.; **Fundição: Mercado, Processo e Metalurgia**. COPPE/UFRJ, 2000.
- [9] SOUZA SANTOS, P.; **Ciência e tecnologia de argilas**. São Paulo: vol. 1 Edgard Blucher Ltda, 1989.

AN ALTERNATIVE TO REUSE OF SAND AND SLAG MACHARIA FOR MASS PRODUCTION OF CONCRETE

ABSTRACT

The large volume of solid waste generated daily by the metals processing industries has caused great harm to the environment. This study aimed to develop an alternative to reuse such as foundry waste slag induction furnaces of ash and sand core shop, with the addition of powdered resin to poly (vinyl chloride) (PVC) and a liquid plasticizer additive (Sulfonol) in the composition the concrete mass, where the intention is to reduce the water absorption in the material and improve their physical and mechanical properties. The wastes were disposed of by the company TRW Automotive. Four formulations were developed by the method de Souza Santos, with ten specimens per formulation. These were cured for 28 days and subjected to physical and mechanical tests. The results are in agreement with the literature.

Keywords: industrial waste, concrete, recycling.