

Tema: Gestão de meio ambiente e recuperação e tratamento de rejeitos

## UTILIZAÇÃO DE MISTURA DE AREIAS USADAS FENÓLICA E A VERDE DE FUNDIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO\*

Leandro Moosher<sup>1</sup>  
Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>2</sup>  
Marlova Piva Kulakowski<sup>3</sup>

### Resumo

A crescente geração e disposição de resíduos sólidos tornou-se preocupante, para tanto busca-se um fim adequado aos mesmos. Este trabalho objetivou avaliar a viabilidade técnica, ambiental e financeira do uso das areias fenólica e verde usadas de fundição como co-produto em substituição parcial ao agregado miúdo areia natural de rio na fabricação de blocos de concreto para pavimentação. Produziu-se 3 traços com 25% e 50% de substituição da areia natural por uma composição de areia de fundição com os mesmos equipamentos e parâmetros comerciais e obteve-se resultados satisfatórios, como a resistência à compressão através do traço rico em consumo de cimento e com 25% de substituição da areia natural pelo co-produto atingindo 37,2 MPa, cerca de 6% acima do mínimo requerido pela NBR 9780. Já na avaliação ambiental esses blocos foram classificados como Resíduo Classe II-A Não Inerte e a análise de viabilidade financeira mostrou custo 1% menor que o bloco convencional.

**Palavras-chave:** Fundição; Resíduo sólido; Reciclagem; Blocos de concreto.

### USE OF SOLID WASTE FOUNDRY AS RAW MATERIALS FOR THE MANUFACTURE FOR CONCRETE BLOCK PAVING

#### Abstract

The rising generation and disposal of solid waste has become worrisome to both search was a fitting end to them. This study aimed to evaluate the technical, environmental and financial use of phenolic and green sand casting used as a co-product in substitution aggregate natural river sand in the manufacture of concrete block paving. Was produced 3 mixtures with 25% and 50% of substitution of natural sand per a foundry sand composition with the same equipment and commercial parameters and was obtained satisfactory results as the compressive strength by dash-rich cement consumption and 25% of substitution of the natural sand by coproduct reaching 37.2 MPa, about 6% above the minimum required by NBR 9780. Already in the environmental assessment of these blocks were classified as Class II-A Waste Not Inert and financial viability analysis showed 1% lower cost than the conventional block.

**Keywords:** Foundry; Solid waste; Co-product; Concrete blocks.

- <sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil.
- <sup>2</sup> Engenheiro e Mestre em Engenharia dos Materiais, Doutor em Ciência dos Materiais, Professor Titular I, Coordenador do curso de Engenharia Ambiental, Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil.
- <sup>3</sup> Engenheira e Mestre em Engenharia Civil Doutora em Engenharia de Minas, Professora Adjunto I, Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos nos centros urbanos está relacionada principalmente com o aumento da população e com a intensificação dos processos de industrialização. O gerenciamento desde a origem, produção, processamento, destino final e reciclagem de resíduos é atualmente um dos maiores desafios de empresas geradoras, de instituições de pesquisa, órgãos governamentais e empresas afins que buscam uma solução para minimizar, ou até eliminara geração de resíduos ou ainda buscar a sua reciclagem e posterior uso em diversas áreas da indústria, transformando-os em produtos de interesse comercial. Os avanços científicos e tecnológicos aceleraram o desenvolvimento industrial, porém, isso está trazendo grandes problemas ambientais através da exploração e transformação de bens naturais não-renováveis e de um grande número de resíduos sólidos gerados. De acordo com a NBR 10004 [1], esses resíduos podem conferir periculosidade se mal dispostos.

A tendência do aproveitamento integral destes resíduos é uma necessidade cada vez maior, devido à escassez dos recursos naturais não renováveis e a preservação do meio ambiente, aliado à crise energética mundial e à busca de fontes alternativas de energia renovável. Neste sentido, os resíduos sólidos de fundição gerados durante a produção de ligas fundidas vêm sendo estudados para tornarem-se co-produto da empresa geradora, visando o emprego como matéria-prima em diferentes segmentos industriais. Neste trabalho, foi estudado a transformação dos resíduos sólidos areia fenólica usada de fundição (AFUF) e areia verde usada de fundição (AVUF) em um único co-produto (COP) para ser utilizado como matéria-prima na fabricação de blocos de concreto para pavimentação, substituindo parcialmente a areia natural de rio (ANM).

### 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 1.1.1 Resíduos sólidos industriais (problemática)

Conforme a NBR 10004 [1], resíduos sólidos são todos os resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. No estudo deste trabalho, os resíduos utilizados são gerados em uma empresa de fundição.

#### 1.1.2 Fundição

De acordo com Siegel [2], um dos principais métodos de dar forma aos metais é a fundição. A fundição é definida como um processo metalúrgico que consiste em obter um produto sólido a partir de uma liga metálica no estado líquido, mediante solidificação desta em um molde, de onde provém parte dos resíduos gerados.

##### 1.1.2.1 Indústria da fundição

Atualmente, a Indústria Brasileira de Fundição compreende cerca de 1.340 unidades fabris, sendo que 48% produzem peças em metais ferrosos (ferro e aço) e 52% produz peças em metais não-ferrosos, principalmente em alumínio, que representa aproximadamente 2/3 deste seguimento. No Brasil, 97% das empresas de fundição são controladas por Capital Nacional e 95% são classificáveis como Pequenas ou Médias Empresas [3]. O Brasil é tradicionalmente um dos maiores produtores mundiais de peças fundidas, tendo produzido cerca de 3,5 milhões de toneladas no ano de 2011 [4]. Para tal processamento, foram necessárias milhões de toneladas

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



de areia de moldagem e machos, sendo que parte deste volume é reciclado no processo e a diferença, torna-se um excedente a ser descartado.

#### **1.1.2.2 Geração de areia usada de fundição**

Dentre os resíduos sólidos gerados pelas empresas de fundição, o que apresenta o maior volume produzido é a areia de fundição, que quando nova é obtida através da junção de uma areia fina com uma resina fenólica alcalina. Segundo Cunha [5], os resíduos de areia de fundição são, na sua maioria, decorrentes da areia descartada após a perda da sua condição de trabalho.

#### **1.1.2.3 Areia fenólica usada de fundição (AFUF)**

A areia fenólica usada de fundição (AFUF) é resultado dos resíduos gerados no processo de produção de ligas fundidas, o qual usa moldes fabricados pelo processo de moldagem com areia fenólica. Essa areia, que confere aos moldes as características de resistência à tração e a compressão, é composta basicamente por areia nova, areia de retorno do próprio processo e aditivos orgânicos e minerais, tendo sua granulometria geralmente mais fina que a areia natural de rio. Conforme a NBR 10004 [1], a areia de fundição é classificada como Classe II A – Não Inertes, porém não especifica o tipo de areia. Já a areia fenólico-alcalina é classificada como resíduo Classe I - Perigoso, pois contém a substância fenol. Visando diminuir os impactos ambientais e econômicos gerados pela destinação do resíduo, diversas pesquisas vêm sendo dirigidas atualmente avaliando a incorporação parcial ou total em outros materiais das areias usadas de fundição, principalmente a areia fenólico-alcalina [6].

#### **1.1.2.4 Areia verde usada de fundição (AVUF)**

Assim como a areia fenólica, a areia verde usada de fundição (AVUF) também é resultado dos resíduos gerados no processo de produção de ligas fundidas. Para a moldagem em areia verde, a argila é o ligante mais usual para dar forma às superfícies externas do produto fundido [7]. Além da argila, basicamente compõem ainda a areia verde água e aditivos (pós de carvão e, mogul ou amido de milho) [8].

#### **1.1.2.5 Areia usada de fundição como matéria-prima para a construção civil**

A areia usada de fundição é atualmente fonte de diversas pesquisas sobre sua aplicação como matéria-prima, principalmente na área de pavimentação, seja em matrizes asfálticas ou em blocos de concreto. A indústria da construção civil é uma das atividades que mais usufrui da extração de recursos naturais, onde cerca de 50% dos recursos extraídos são destinados a construção civil. Com isso, ganham força os problemas de escassez de recursos naturais, principalmente com o crescente aumento da fiscalização ambiental sobre a exploração ilegal [9].

### **1.1.3 Bloco de concreto para pavimentação**

Os blocos de concreto já foram muito utilizados como material arquitetônico, mas nas últimas décadas passaram a ser largamente utilizados para pavimentação. O pavimento pode ser descrito como uma estrutura construída sobre a superfície de algum leito, após os serviços de preparação desses, como a terraplanagem, por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade, cuja principal função é fornecer segurança e conforto ao usuário [10]. Atualmente, em um número cada vez maior de cidades, calçadas, pátios, estacionamentos e áreas externas de condomínios são revestidos com

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



blocos de concreto dos mais diversos tamanhos e formatos. Esses blocos também são conhecidos como pavers ou pavimentos drenantes, porque são assentados diretamente sobre o solo ou areia e podem assim escoar a água de chuva em vez de jogá-la para os bueiros, galerias e córregos. Para tráfego de pedestres, ciclovias ou ruas internas de condomínios, por exemplo, os blocos devem ter resistência característica a compressão de pelo menos 35 MPa. Já para uso em vias com tráfego mais intenso e de veículos maiores, são recomendados os blocos de 50 MPa [11].

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como base procedimentos já existentes e consagrados para a fabricação de blocos de concreto para pavimentação. Os resíduos e agregados passaram pelos ensaios de caracterização e posteriormente foram incorporados ao concreto como co-produto para a fabricação dos blocos.

### 2.1 Materiais Utilizados

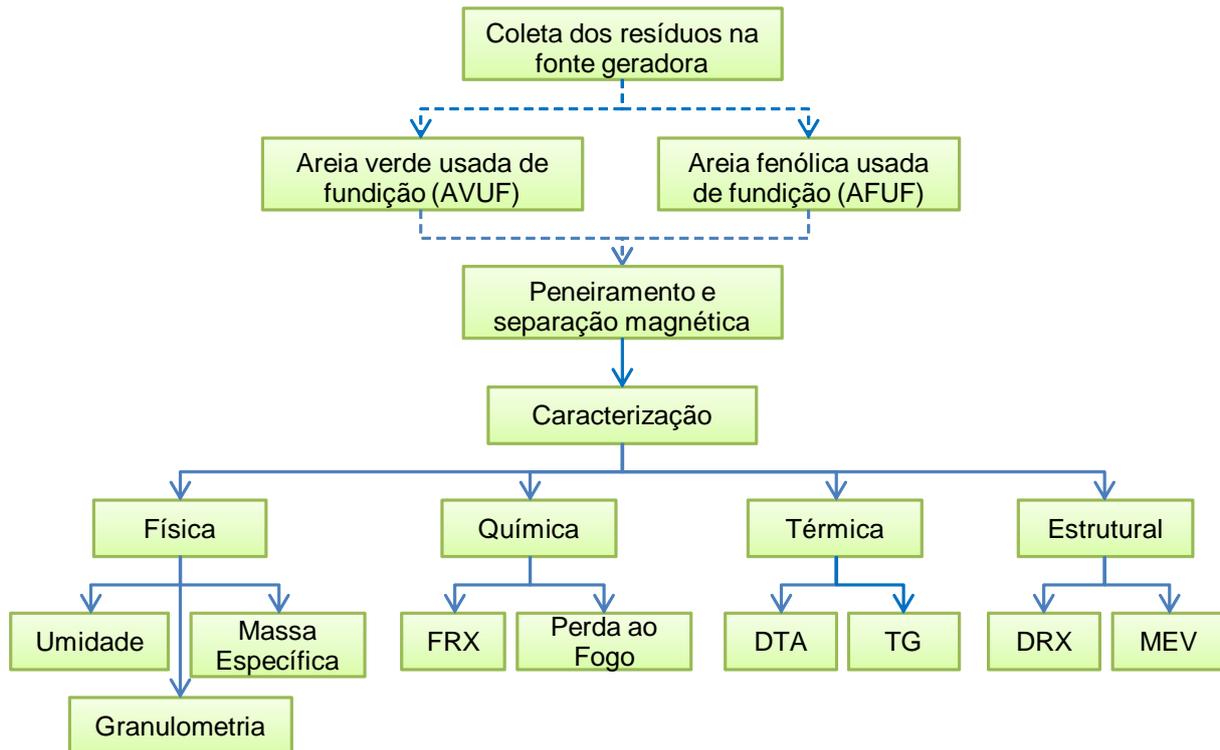
Os materiais utilizados foram os mesmos empregados em concreto convencionais, porém com o acréscimo da combinação das areias fenólica usada de fundição (AFUF) e areia verde usada de fundição (AVUF). São eles: Cimento Portland - foi utilizado o CP-V ARI RS, pois é o mesmo cimento utilizado pela empresa parceira neste projeto. Agregados miúdos - foram empregados a areia natural com granulometria média (1,2 mm / 0,42 mm), que foi utilizada como referência, areia industrial e a mistura dos resíduos AFUF e AVUF. Como agregado graúdo foi utilizado o pedrisco com granulometria entre 2,4 mm e 6,3 mm. A água utilizada na produção do concreto foi disponibilizada pelo sistema de abastecimento local. Aditivo plastificante para blocos de concreto e outros artefatos de cimento e pré-fabricados de concreto também foi utilizado.

### 2.2 Metodologia

A coleta, preparação e caracterização dos resíduos de fundição para o uso no presente trabalho foram realizadas de acordo com o fluxo mostrado na Figura 1 e foram caracterizados no laboratório de material de construção (LMC) e de caracterização e valorização de materiais (LCVMAT) da Unisinos.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Figura 1.** Fluxograma de caracterização da AFUF e AVUF.

Após a caracterização dos agregados e dos resíduos, foi realizado o estudo de empacotamento, considerando a massa específica e unitária, entre a AFUF e a AVUF, onde foi encontrado a relação 60% de AFUF e 40% AVUF como o proporcionamento que produziu o menor volume de vazios.

### 2.2.1 Método de produção dos blocos

A produção dos blocos de concreto foi realizada na empresa parceira, onde utilizou-se os mesmos materiais (agregados, aglomerante, água e aditivo), os mesmos equipamentos, processos, parâmetros e o traço utilizado pela empresa como traço referência para este trabalho e a partir deste, a formação dos traços contendo substituição parcial do agregado miúdo areia natural pelo co-produto. Todos os traços foram trabalhados em três classes: traço pobre, traço intermediário e traço rico. A (Tabela) mostra os traços e o proporcionamento utilizado, bem como a relação a/c.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

**Tabela 1.** Traços produzidos com substituição do agregado miúdo AN pela combinação dos resíduos

Traço	Classe	Proporção de agregados	Rel. a/c
TREF1	Pobre	AN - 100%	0,10
TREF2	Intermediário	AN - 100%	0,10
TREF3	Rico	AN - 100%	0,10
TS1	Pobre	AN - 75% - AFUF/AVUF 60/40 - 25%	0,10
TS2	Intermediário	AN - 75% - AFUF/AVUF 60/40 - 25%	0,10
TS3	Rico	AN - 75% - AFUF/AVUF 60/40 - 25%	0,10
TS4	Pobre	AN - 50% - AFUF/AVUF 60/40 - 50%	0,15
TS5	Intermediário	AN - 50% - AFUF/AVUF 60/40 - 50%	0,15
TS6	Rico	AN - 50% - AFUF/AVUF 60/40 - 50%	0,20

Ao total foram moldados 278 blocos, sendo que para cada traço foi utilizado no mínimo 12 (doze) blocos para ensaio de resistência a compressão, 02 (dois) blocos para ensaio de resistência ao desgaste por abrasão, 06 (seis) blocos para o ensaio de absorção de água e os demais como reserva. A Figura 2 mostra os blocos obtidos contendo a combinação da AFUF e AVUF. Para a avaliação ambiental, foram utilizados pedaços de um bloco com substituição da areia natural pelo co-produto, rompido no ensaio de resistência a compressão mecânica.



**Figura 2.** Blocos de concreto para pavimentação produzidos com 25% de substituição da ANM pelos resíduos.

### 2.2.2 Propriedades avaliadas nos blocos de concreto para pavimentação

O fluxograma de avaliação dos blocos obtidos neste trabalho esta representado pela (Figura 3).

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

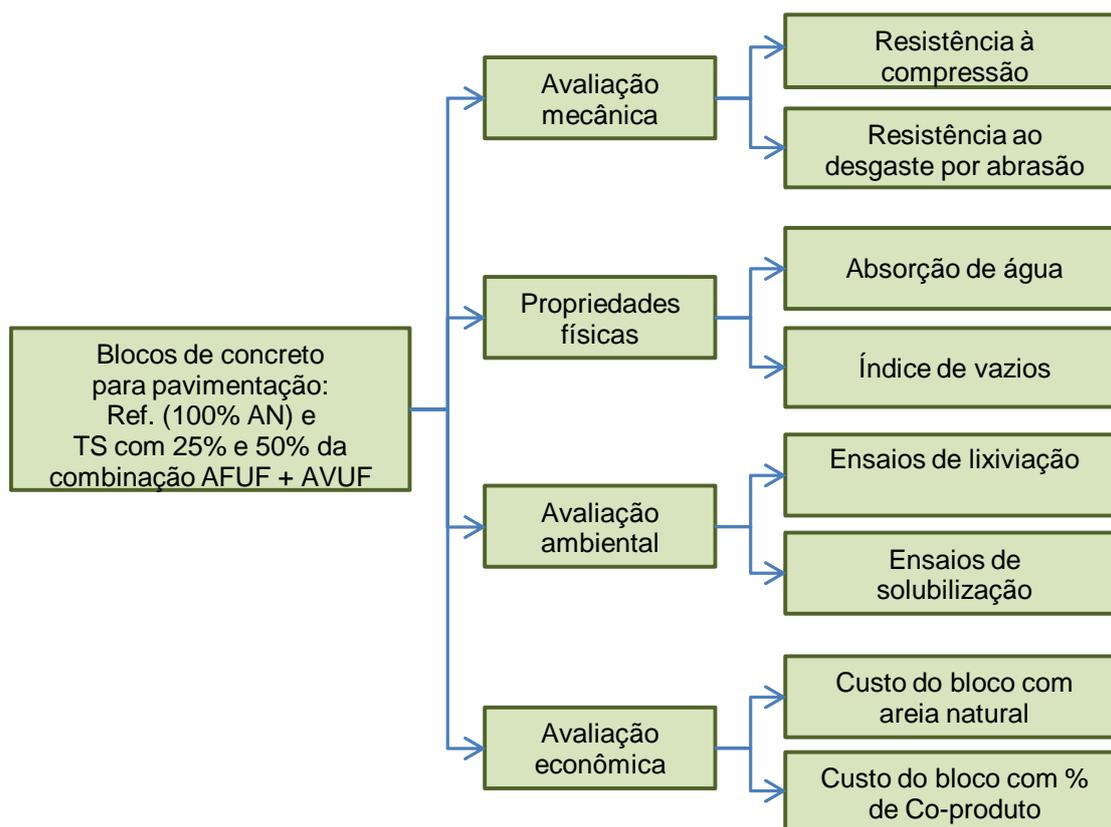


Figura 3. Fluxograma de avaliação dos blocos de concretos produzidos.

### 2.2.2.1 Resistência mecânica à compressão

A resistência à compressão foi analisada nas idades de 7 e 28 dias de cura. Antes do rompimento, os corpos de prova foram capeados e após 24 horas de cura do capeamento foram submersos em água por um período mínimo de 24 horas. Para a realização desse ensaio foram submetidos 6 (seis) blocos para cada traço, conforme solicitação NBR 9780 [12].

### 2.2.2.2 Absorção de água

Como não há norma específica para a realização do ensaio de absorção de água para blocos de concreto para pavimentação, foi utilizado neste trabalho uma adaptação da NBR 12118 [13] e da NBR 9778 [14].

### 2.2.2.3 Índice de vazios

Igualmente ao ensaio de absorção de água, não existe uma metodologia universal que seja adotada para ensaiar o índice de vazios dos blocos de concreto para pavimentação. O procedimento utilizado para este ensaio foi o mesmo para o ensaio de absorção de água.

### 2.2.2.4 Resistência ao desgaste por abrasão

Para este trabalho, utilizou-se o “Método CIENTEC de Desgaste à Abrasão”, onde são extraídas duas amostras por meio de serra circular diamantada de cada bloco e em seguida simula-se um percurso de 500 metros percorridos pelo corpo-de-prova submetido a uma pressão constante de 0,06 MPa sobre pó abrasivo carborundo. O resultado deste ensaio é apresentado pela média do índice de desgaste dos corpos-de-prova em mm, o que corresponde à média das diferenças dentre as alturas iniciais e finais de cinco pontos do corpo de prova.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

### 2.2.2.5 Avaliação ambiental

Os blocos foram avaliados pelos ensaios de lixiviação NBR 10005 [15] e solubilização NBR 10006 [16], para atestar que o produto gerado a partir da substituição de ANM pelo COP possa ser comercializado e seu uso não trará danos ao meio ambiente.

### 2.2.2.6 Avaliação econômica

A viabilidade econômica foi avaliada através de um comparativo entre os custos dos insumos para fabricação dos blocos de concreto padrão produzidos pela empresa parceira deste trabalho, e a fabricação dos blocos de concreto com substituição parcial ANM pelo COP, tomando como base os blocos com o traço que apresentou os melhores resultados quanto às suas características físicas, mecânicas e ambientais.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Resistência mecânica à compressão

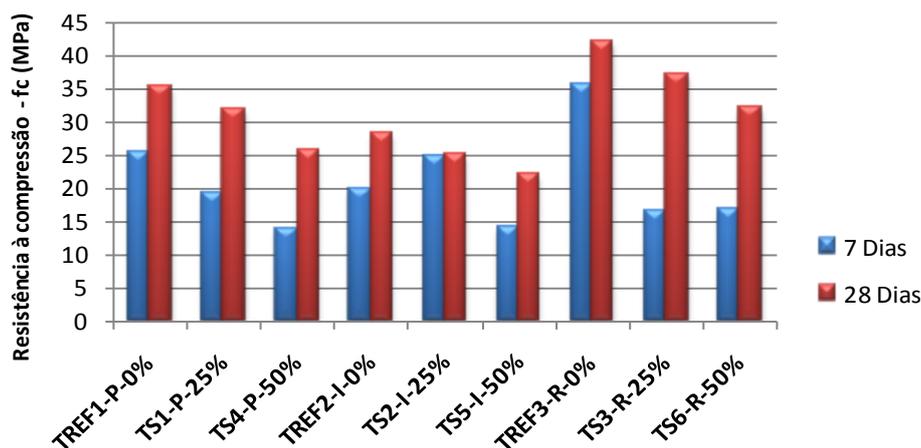
A Tabela 2 apresenta o comportamento das médias de resistência aos 7 e 28 dias de cura. Observar-se que em alguns traços houve uma grande variação da resistência alcançada nos diferentes períodos. Essa variação apresenta um desvio padrão médio de 2,4, com exceção para o TS5 que apresentou um baixo desvio-padrão e o TS6, que apresentou o maior desvio-padrão para os blocos ensaiados aos 7 dias de cura, assim como um alto coeficiente de variação, de 25%. Já para os 28 dias de cura, a média do desvio-padrão aumentou para 3,3, principalmente devido aos traços TREF2, TS1 e TS6 que apresentaram os maiores coeficientes de variação.

**Tabela 2.** Resistência mecânica à compressão média (fcm) dos blocos de concreto para pavimentação nos traços referência e com substituição parcial da AN pela AFUF e AVUF

Traços	fcm 7 dias [MPa]	$\sigma$	C.V. [%]	fcm 28 dias [MPa]	$\sigma$	C.V. [%]
TREF1	Pobre	25,4	2,5	10	35,6	2,3
TREF2	Intermediário	19,8	2,2	11	28,4	3,9
TREF3	Rico	35,6	2,2	6	42,3	1,9
TS1	Pobre	19,1	2,2	11	31,8	4,1
TS2	Intermediário	24,9	3,2	13	25,3	2,1
TS3	Rico	16,7	1,9	12	37,2	4,5
TS4	Pobre	14,0	2,0	15	25,6	3,0
TS5	Intermediário	14,1	1,3	10	22,3	2,7
TS6	Rico	16,7	4,2	25	32,2	5,1

A Figura 4 apresenta através do gráfico o comportamento das médias de resistência aos 7 e 28 dias de cura dos traços utilizados nesse trabalho.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



#### Tracos

Onde: P = Pobre; I = Intermediário; R = Rico; 0%, 25% e 50% = teor de AFUF/AVUF

**Figura 4.** Média da resistência mecânica à compressão dos blocos aos 7 e 28 dias de cura.

O traço que apresentou o melhor resultado foi o TS3. Fazendo uma análise comparativa com outros trabalhos, os valores encontrados para a resistência à compressão aos 28 dias para o traço com 25% de substituição, que é igual a 31,8 MPa e 37,2 MPa para os traços pobre e rico respectivamente, são em torno de 39% maiores que os 26,67 MPa encontrado por Scott Hood [17] para 25% substituição do agregado miúdo natural por RCD. Ainda em termos de comparação, os valores de resistência à compressão obtidos para os traços pobre e rico com 50% de substituição de areia natural pelo COP são 25,6 MPa e 32,2 MPa respectivamente, valores cerca de 34% maiores que o encontrado por Pagnussat [18] que foi de 24,01 MPa para 50% de substituição do agregado miúdo natural pela escória granulada de fundição e em torno de 170% maior que o valor obtido por Scott Hood [17], que foi de 11,84 MPa para 50% de substituição do agregado miúdo natural, porém por RCD.

### 3.2 Resistência ao Desgaste por Abrasão

Devido ao alto custo deste ensaio, foram ensaiados apenas os blocos de concreto para pavimentação com o traço “intermediário”, para fins de comparação com o traço utilizado pela empresa fabricante de artefatos de concreto. Conforme apresentado na (Tabela), o resultado do ensaio mostrou que o TS2 teve uma pequena variação, em torno de 3% no índice de desgaste médio em relação ao traço de referência, ou seja, esse percentual de substituição praticamente não interferiu no desgaste por abrasão e, tecnicamente, essa variação não é significativa. Já TS5 teve uma grande variação, em torno de 82%, em relação ao traço referência, indicando grande interferência do COP nessa característica.

**Tabela 3.** Índice médio de desgaste por abrasão dos blocos de concreto para pavimentação

Traços	CP's	Índice de desgaste (mm)		Variação
		Individual	Médio	
TREF2	1	8,30	8,04	0
	2	7,79		
TS2	1	7,30	8,32	3
	2	9,35		
TS5	1	14,69	14,06	82
	2	14,51		

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

### 3.3 Absorção de Água

Os valores encontrados neste ensaio e apresentado na Figura 5 mostram que todos os traços utilizando COP tiveram maior absorção de água em relação ao concreto referência. Já os blocos moldados com um traço rico em cimento com exceção do TS6, têm um percentual de absorção menor que traços com menos cimento. O mesmo acontece com os traços com menor percentual de substituição da ANM pelo COP, com exceção do TS1, ou seja, quanto menor o percentual de substituição, menor o valor de absorção de água.

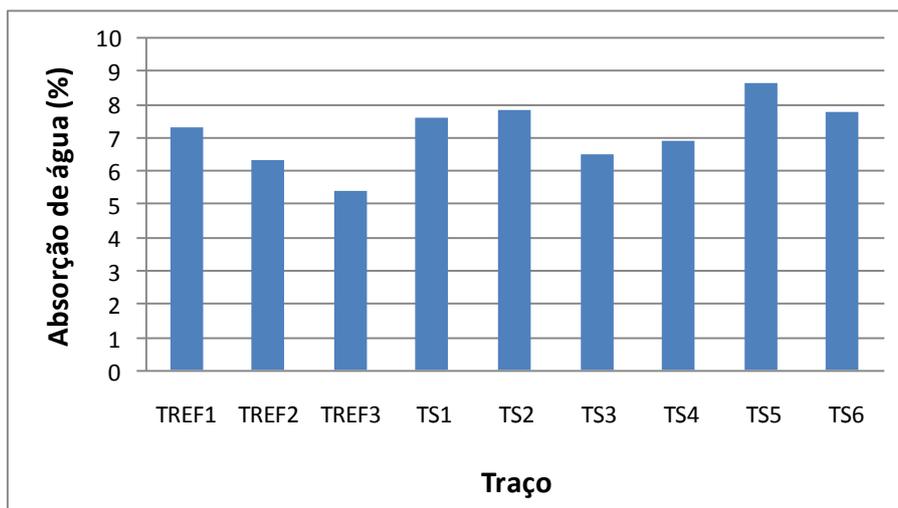


Figura 5. Absorção de água dos blocos de concreto para pavimentação.

### 3.4 Índice de Vazios

Os valores encontrados para o índice de vazios e apresentado na Figura 5 mostram que os blocos moldados com um traço com menor quantidade de cimento, têm certa tendência a apresentar um percentual de absorção de água maior que os traços com mais cimento. Isso pode ser explicado pelo fato do cimento ser mais fino e ocupar melhor os espaços entre todos os agregados, fazendo o trabalho de um fíler. Já os traços com menor percentual de substituição da ANM pelo COP, menor o índice de vazios, mesmo os resultados sendo muito próximos, inclusive do traço de referência.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

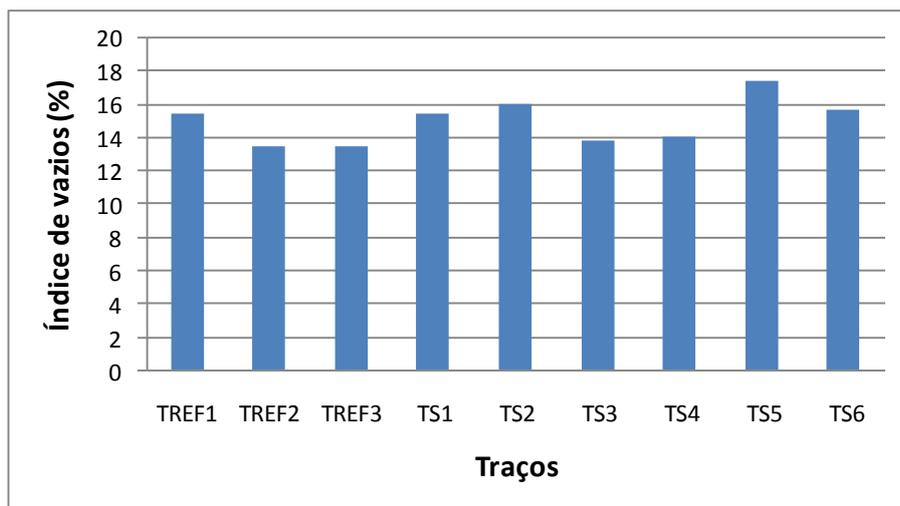


Figura 6. Índice de vazios dos blocos de concreto para pavimentação.

### 3.5 Avaliação Ambiental dos Blocos de Concreto

Segundo o laudo de análises e de acordo com os resultados de lixiviação e solubilização, a amostra do bloco de concreto contendo a AFUF e a AVUF como co-produto foi classificada como resíduo Não Inerte - Classe II A de acordo com a NBR 10004 [1].

Com este resultado, não haveria problemas em aproveitar esses resíduos de fundição como matéria-prima na construção civil, desde que dosados adequadamente.

### 3.6 Avaliação Econômica

Os cálculos para a avaliação econômica foram realizados com intuito de verificar os custos dos blocos que apresentaram melhor resistência à compressão. Os resultados obtidos mostraram que para produzir 1 m<sup>2</sup> de bloco de concreto com 25% de substituição da ANM pelo COP, mesmo com o traço rico em consumo de cimento “TS3”, ainda assim teve uma redução de 1% no custo de produção desses blocos. Para os blocos produzidos com o TS6, com 50% de substituição e resistência à compressão média de 32,2 MPa, foi obtido uma redução de 3% no custo de produção. Já para 1 m<sup>2</sup> de bloco para pavimentação com 25% COP obteve-se custo 4% menor comparando com o traço referência.

Além disso, é importante salientar que a distância entre a empresa geradora e a empresa produtora dos blocos é menor que 100 km, e ainda menor que a distância de extração de areia de rio, o que além do custo menor da areia de fundição sugere também um custo menor com frete, com menor impacto ambiental também, pois diminuiria o trânsito de caminhões que liberam grande quantidade de monóxido de carbono prejudicial ao meio ambiente.

## 4 CONCLUSÃO

Em relação à resistência mecânica à compressão, o maior valor médio aos 28 dias de cura foi observado para a combinação do traço rico com 25% de substituição, atingindo 37,2 MPa de resistência, valor superior ao mínimo exigido pela NBR 9780 [12] para blocos de pavimentação para tráfego de veículos comerciais de

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



linha, sendo assim, conclui-se que é viável o uso do COP utilizado nesse trabalho. Já em relação à resistência ao desgaste por abrasão, tecnicamente não há diferença entre os valores médios encontrados nos blocos com 25% de substituição da areia natural pelo COP quando comparado com o traço de referência, ou seja, pode-se indicar o uso dos blocos com esse traço. Para o ensaio de absorção de água, percebe-se que mesmo com o aumento da absorção dos blocos com substituição em relação aos blocos de referência, os valores obtidos estão abaixo do limite máximo de 10% requeridos pela NBR 12118 [13], o que torna esses blocos passíveis de uso. Em relação ao índice de vazios, os valores encontrados nos blocos com substituição ficaram muito próximos dos valores de referência. Um estudo mais aprofundado é recomendado para avaliar esta característica. Já na avaliação ambiental, a amostra de bloco contendo substituição parcial da areia natural pelo COP não apresentou características que pudessem reprovar o seu uso, tornando os blocos aptos para uso. Para a avaliação econômica, os cálculos mostraram que pode haver ganhos tanto para empresa geradora dos resíduos, quanto para empresa fabricante dos artefatos de concreto.

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a todas pessoas envolvidas neste trabalho e as empresas de fundição e a produtora de blocos de concreto por fazer parte deste projeto.

## REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- 2 Siegel M. ABM – Associação Brasileira de Metais. Curso de Fundição. 6ª Edição. São Paulo: ABM, 1975.
- 3 ESTAL/MME - Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia/ Ministério de Minas e Energia. Produto 35, Cadeia da Fundição - Relatório Técnico 61, Perfil da Fundição (2009). Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_transformacao\\_mineral\\_no\\_brasil/P35\\_RT61\\_Perfil\\_da\\_Fundixo.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P35_RT61_Perfil_da_Fundixo.pdf)> Acesso em: 23 out. 2012.
- 4 ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. Notícias. Disponível em: <[http://www.abifa.com.br/Noticias\\_.aspx?ID\\_NOTICIA=108](http://www.abifa.com.br/Noticias_.aspx?ID_NOTICIA=108)>. Acesso em: 10 mar. 2012.
- 5 Cunha AB. Estudo da contaminação por compostos fenólicos de uma área impactada por resíduo de areia de fundição. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2005.
- 6 Calheiro D. et al. Avaliação da reciclagem de areia fenólica-alcalina usada de fundição (AF) na produção de concreto. In. CONGRESSO ANUAL INTERNACIONAL DA ABM, 65º. 2010, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABM, 2010. p. 3260-3272.
- 7 Klinsky LMG, Fabbri GTP. Reaproveitamento da areia de fundição como material de base e sub-base de pavimentos flexíveis – Transportes. São Paulo, 2009; XVII(2): 36-45.
- 8 Moraes CAM, Vilela ACF. Resíduos sólidos nas indústrias siderúrgicas e de fundição. Apostila. Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- 9 JOHN, V. M. A Construção e o Meio Ambiente. Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC. Disponível em: [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a\\_construcao\\_e.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm). Acesso em: 12 fev. 2012

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



- 10 Muller RM. Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto. 2005. 256 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia), Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- 11 Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9781: Peças de Concreto para Pavimentação: Especificação. Rio de Janeiro, 1987.
- 12 Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9780: Peças de Concreto para Pavimentação: Determinação da Resistência a Compressão. Rio de Janeiro, 1987.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.
- 15 Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10005: Procedimento para Obtenção de Extrato Lixiviado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- 16 Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 10006: Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- 17 Scott Hood RS. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil -- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2006.
- 18 Pagnussat DT. Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2004.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.