

ESTUDO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE BLOCOS DE PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADOS COM ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE FORNO PANELA¹

Bárbara Thays Rodrigues de Almeida²

Elias Fagury Neto²

Clayton Labes³

Webson Souza da Cruz⁴

Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveria²

Resumo

O interesse nas ações de desenvolvimento sustentável tem aumentado nas últimas décadas, com isso, a utilização de resíduos têm se mostrado como uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo alto consumo de matéria-prima e pela redução das áreas de deposição. A criação de bloco de concreto para pavimentação intertravada, com a agregação de escória proveniente da indústria siderúrgica tem se mostrado como uma alternativa sustentável. Suas principais características são; facilidade de instalação, efeito antiderrapante, utilização em locais de tráfego pesado ou leve e facilidade de manutenção (onde as peças afetadas são trocadas ou recolocadas). Neste trabalho, blocos de pavimentação foram confeccionados utilizando escória de forno panela na substituição parcial do cimento em 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. O rejeito agregado foi avaliado por meio de Fluorescência de Raios X. Foram realizados ensaios de Absorção de Água Relativa e Resistência Mecânica à Compressão. Os resultados demonstraram que a adição de EFP é viável para teores de 10% na substituição parcial do cimento, já que produziu blocos com valores de resistência à compressão inferiores aos valores dos blocos de referência com 28 dias de cura.

Palavras-chave: Bloco de pavimentação; Propriedades tecnológicas; Escória.

STUDY THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF BLOCK PAVING INTERLOCKED ADDED SLAG LADLE FURNACE

Abstract

The interest in sustainable development efforts have increased in recent decades, therefore, the use of waste have been shown to be a good alternative in reducing the impact caused by high consumption of raw materials and by reducing the areas of deposition. The creation of concrete block for interlocked paving, with addition of slag from the steel industry has been a sustainable alternative. Its main features are: ease of installation, anti-slip effect, use in places of heavy traffic or light and ease of maintenance (where the affected parts are replaced or relocated). In this work, paving blocks were prepared using ladle furnace slag in the partial replacement of cement content of 0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. The added slag was evaluated by X-ray Fluorescence. Assays were performed concerning the relative water absorption and mechanical resistance to compression. The results showed that the addition of EFP is viable in contents of 10% in partial replacement of cement since it produces blocks with values of compressive strength lower than those 28 days of curing reference blocks.

Key words: Block paving; Technology properties; Slag.

¹ *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

² *Universidade Federal do Pará, Brasil.*

³ *Eng. Materiais, Diretor. Sinobras, Pará, Brasil.*

⁴ *Eng. Materiais, WM Engenharia, Marabá, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O pavimento de peças pré-moldadas de concreto, hoje denominado de pavimento intertravado, é uma nova técnica de pavimentação, e é uma opção para o desenvolvimento do setor rodoviário e urbano do país. Pavimentos, como o intertravado, que necessitam de mão de obra não especializada para a confecção de sua estrutura e, principalmente, da sua camada de revestimento, devem começar a ser vistos com outros olhos pelos órgãos públicos e responsáveis pela pavimentação de vias. Além de proporcionarem melhorias estéticas, técnicas e de redução de custos para os transportes, em vias não pavimentadas, geram a utilização intensa de mão de obra local, proporcionando um aumento da receita familiar com a geração de novos empregos.

À medida que este tipo de pavimento deixou de ser uma opção somente arquitetônica e paisagística, foi necessário o desenvolvimento de novos estudos e pesquisas sobre o mesmo, inclusive em relação à utilização de novos materiais que podem ser adicionados durante o processo de preparação das peças pré-moldadas de concreto.

Com base no grande impulso de diversas áreas do conhecimento para a realização de pesquisas de ordem ambiental e no fato da redução do volume de resíduos gerados por indústrias diversas, assim, a consequência direta disso são os recentes avanços no desenvolvimento de novos materiais e o aproveitamento de resíduos de outros setores produtivos. Surge então, a utilização do processo de reciclagem, bem como a incorporação de resíduos de outros setores, transformando definitivamente a questão de gerenciamento e reaproveitamento de subprodutos.

Segundo Masuero (2009), é grande e vantajosa a viabilidade do uso de escórias de aciaria elétrica em materiais de Construção Civil, especificamente como adição ao concreto. Neste contexto, estudar as possibilidades de reciclagem de resíduos em materiais de construção, como os blocos de concreto intertravados para pavimentação (BCP), adquire uma nova dimensão, que extrapola a intenção pura e simples de desenvolver um novo produto.

A escória de forno panela é um produto líquido ou pastoso, produzido durante operações pirometalúrgicas, que se torna sólido a temperatura ambiente. É geralmente formada por uma solução de misturas de óxidos e silicatos, às vezes com fosfatos e boratos, em uma reação endotérmica (Figura 1).⁽¹⁾



Figura 1. Escória de forno panela (EFP). Fonte: Masuero.

Este trabalho tem como principal objetivo a avaliação da potencialidade de utilização de escória de forno panela, aqui denominada como EFP, na fabricação de BCP. A partir da apresentação do tema, busca-se avaliar o efeito do uso de EFP nestes

blocos avaliando suas propriedades tecnológicas, tais como, resistência à compressão e absorção de água. Também foi objetivo desse trabalho estudar a nível microestrutural a morfologia do material, utilizando um microscópio eletrônico de varredura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização da pesquisa iniciou-se com a coleta da escória de forno panela da Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras), situada no distrito industrial de Marabá no estado do Pará, em seguida foi realizada a seleção dos demais materiais (cimento, areia grossa e areia fina), sendo o cimento, do tipo CPII-Z 32 RS. Após a coleta dos materiais, foi realizada a determinação da composição química da escória por espectrometria de fluorescência de raios X, utilizando o espectrômetro WDS sequencial, modelo Axios Minerals da marca PA Nalytical com tubo de raios X cerâmico, anodo de ródio (Rh) e Máximo nível de potencia 2,4 kw.

Após a definição do traço de referência e com base em pesquisas bibliográficas, optou-se pela substituição parcial do cimento pela EFP, nas proporções em massa de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. A Tabela 1 ilustra as quantidades dos materiais necessários para moldagem de 12 corpos de provas com dimensões reais do pavimento (Figura 2).

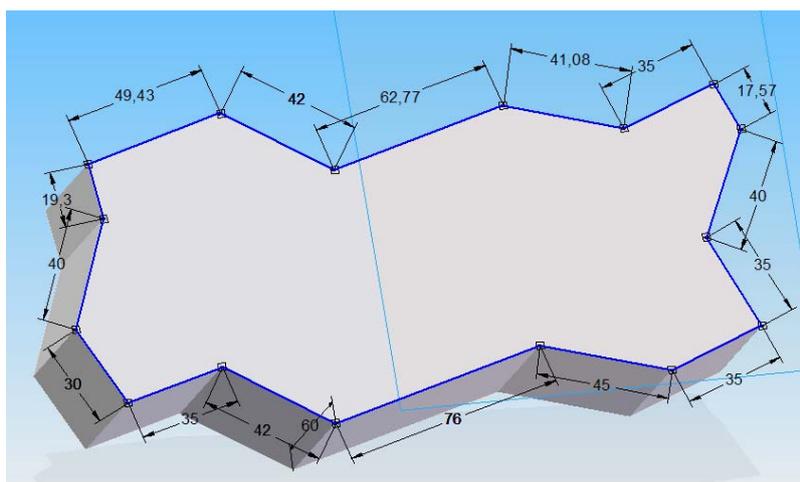


Figura 2. Dimensão real do bloco.

Tabela 1. Quantidades dos materiais em Kilogramas (kg)

Corpo de prova	% de resíduo	Cimento	Areia grossa	Areia fina	Escória	Água
Bloco I	0%	14 kg	14 kg	14 kg	0 kg	4 kg
Bloco II	10%	5,6 kg	14 kg	14 kg	1,4 kg	4 kg
Bloco III	20%	4,2 kg	14 kg	14 kg	2,8 kg	4 kg
Bloco IV	30%	9,8 kg	14 kg	14 kg	4,2 kg	4 kg
Bloco V	40%	8,4 kg	14 kg	14 kg	5,6 kg	4 kg
Bloco VI	50%	7,0 kg	14 kg	14 kg	7,0 kg	4 kg

Em seguida, os corpos-de-prova foram moldados em moldes plásticos com as dimensões reais dos blocos (Figura 3), e como desmoldante, foi utilizado o óleo diesel. Distribuiu-se o concreto no molde já com o desmoldante distribuído no mesmo, em varias camadas até preencher os moldes, as camadas receberam golpes distribuídos uniformemente ao longo de toda superfície.

Os blocos poderiam ser retirados em seguida ou depois da cura (Figura 4), respeitando um prazo de 24 horas de cura. Decorrido 24 h, as amostras foram armazenadas em local apropriado até o dia de seu rompimento. Para cada traço, moldaram-se 12 corpos-de-prova. As amostras foram ensaiadas com 14 dias e 28 dias de idade; Todos os ensaios de moldagem, processo de cura e rompimento das amostras foram realizados de acordo com as normas brasileiras vigentes.



Figura 3. Molde para blocos intertravados.



Figura 4. Moldes preenchidos e desmoldados.

Na realização dos ensaios de resistência à compressão utilizou-se como parâmetro técnico a NBR 9780 e NBR 9781. As rupturas foram realizadas com quatorze e vinte e oito dias. Para cada ensaio foram moldados quatro corpos de prova, e os valores dados pelo equipamento de ensaio, o qual foi uma prensa manual, foram coletados, lidos e calculados uma média dos resultados dos quatro corpos de prova.

Assim, após o rompimento dos corpos de prova no ensaio, retirou-se dos mesmos pequenas amostras de fragmentos, a fim de se analisar as características da superfície da fratura do material.

A morfologia da superfície da fratura foi avaliada através da microscopia eletrônica de varredura, utilizando um microscópio (MEV) (TM 3000, Hitachi) em 15 kV (Voltagem de aceleração constante), de modo que as amostras foram previamente fixadas sobre uma fita de carbono.

Sabe-se que em geral a resistência dos BCP é inversamente proporcional à sua absorção de água. Logo, para a realização do ensaio de absorção relativa de água, o método utilizado baseou-se na ideia proposta pela NBR 12118, para blocos de concreto para alvenaria, assim, os blocos foram imersos em água com idade de

quatorze e vinte e oito dias de cura e em temperaturas ambientes (Figura 5). Foram realizadas leituras de massa antes que os blocos fossem imersos em água e depois dos mesmos terem passado 24 horas imersos. A absorção relativa de água é expressa em percentagem (Equação 1).

$$a(\%) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- $a(\%)$ = absorção relativa de água;
- m_1 = massa do bloco ainda não imerso com 14 dias ou 28 dias; e
- m_2 = massa do bloco saturado de água.



Figura 5. Blocos Intertravados imersos em água.

3 RESULTADOS

3.1 Análise Química da Escória

A Tabela 2 representa o resultado da análise química da escória de forno panela.

Tabela 2. Análise quantitativa de fluorescência de raios X

ÓXIDO	TEOR (%)
Al ₂ O ₃	2,59
CaO	62,86
Fe ₂ O ₃	0,20
MgO	6,87
SO ₃	0,09
SiO ₂	26,98
SiO	0,17
TiO ₂	0,23
Perda ao fogo	0
Total	99,99

3.2 Ensaios Mecânicos dos Blocos

3.2.1 Ensaio de resistência à compressão axial

As Figuras 6 e 7 representam os resultados de resistência à compressão das amostras de BCP com 14 dias e 28 dias de cura, respectivamente.

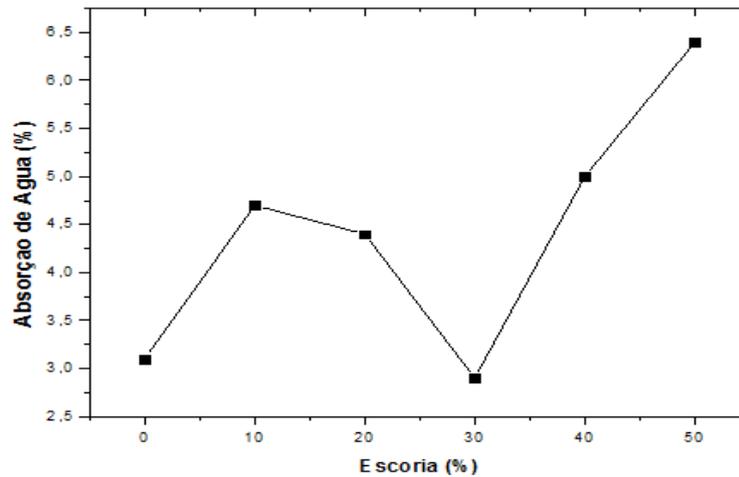


Figura 6. Resistência à compressão de BCP's com teores de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EFP e 14 dias de cura.

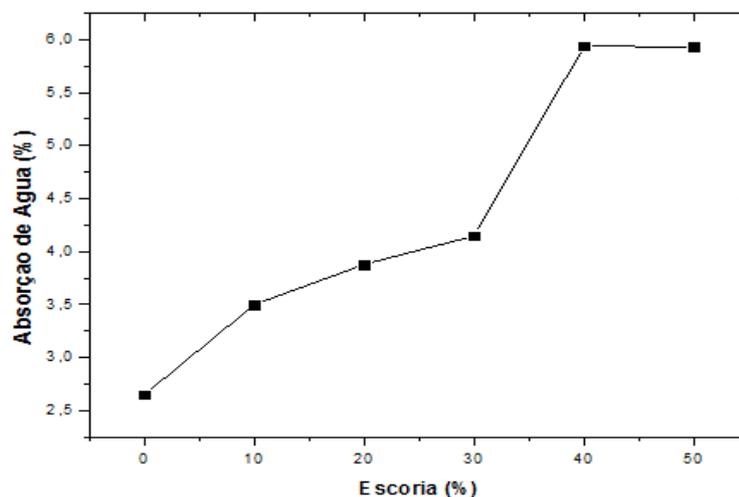


Figura 7. Resistência à compressão de BCP com teores de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EFP e 28 dias de cura.

3.3 Ensaio de Absorção Relativa de Água

As Figuras 8 e 9 representam os resultados de absorção relativa de água nas amostras de BCP com 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EFP e com 14 dias e 28 dias de cura, respectivamente.

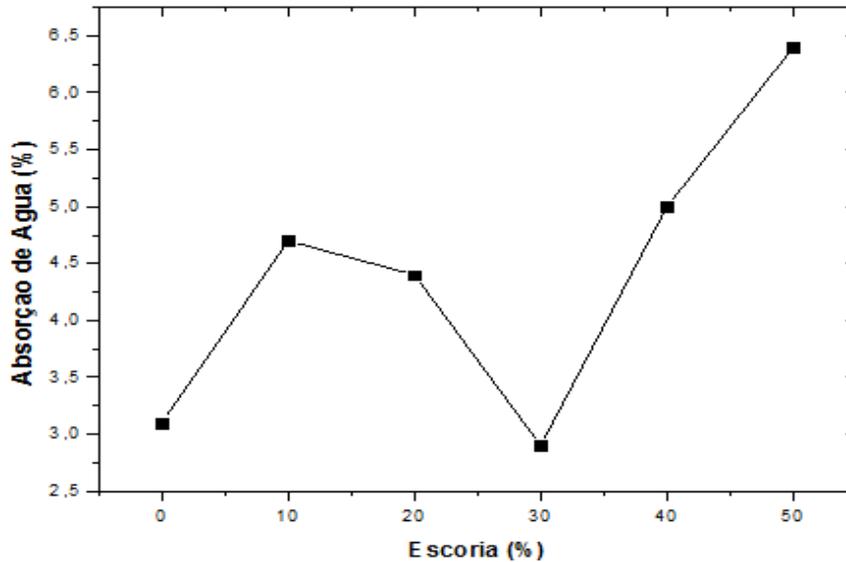


Figura 8. Absorção relativa de água de blocos com 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EFP e 14 dias de cura.

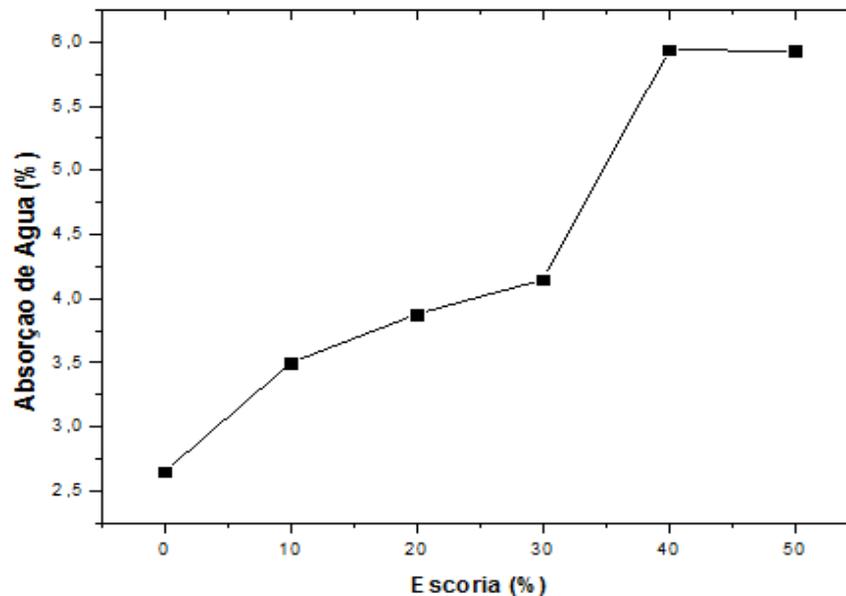


Figura 9. Absorção relativa de água de blocos com 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EFP e 28 dias de cura.

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As Figuras 10 e 11 representam as micrografias obtidas através do MEV para as amostras de BCP com 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EFP com 14 dias e 28 dias de cura, respectivamente.

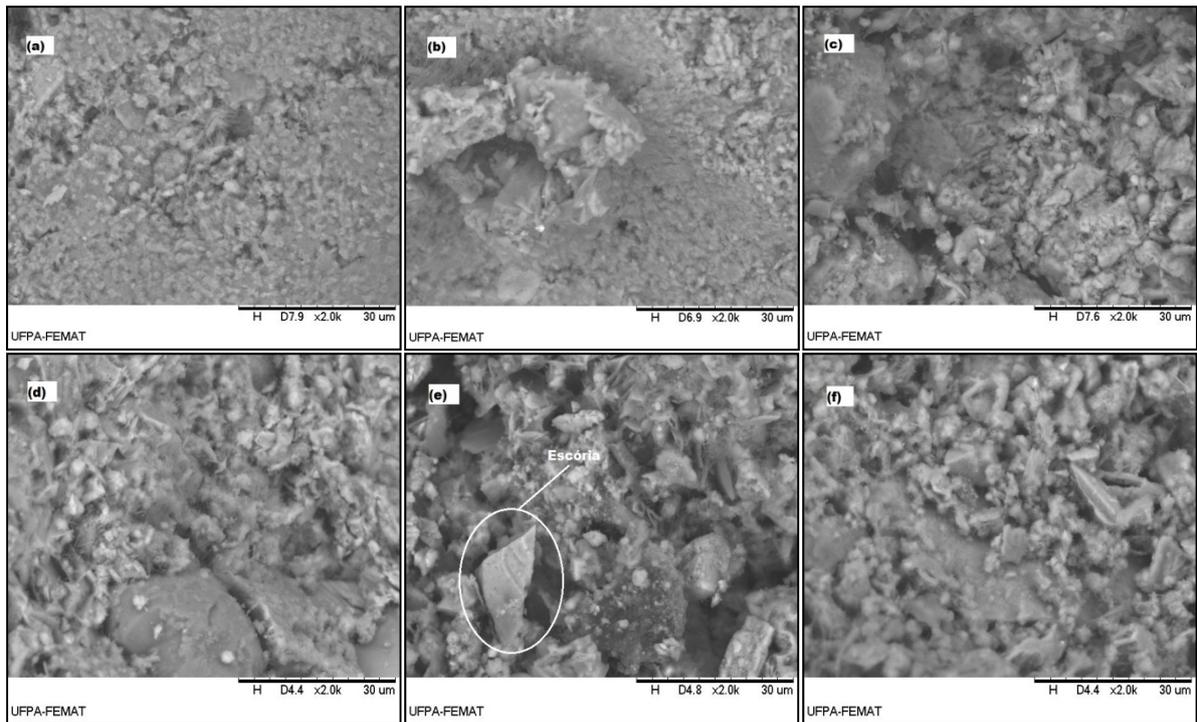


Figura 10. Micrografias eletrônicas de varredura das amostras com teores de (a) 0%; (b) 10%; (c) 20%; (d) 30%; (e) 40%; e (f) 50% de EFP e 14 dias de cura.

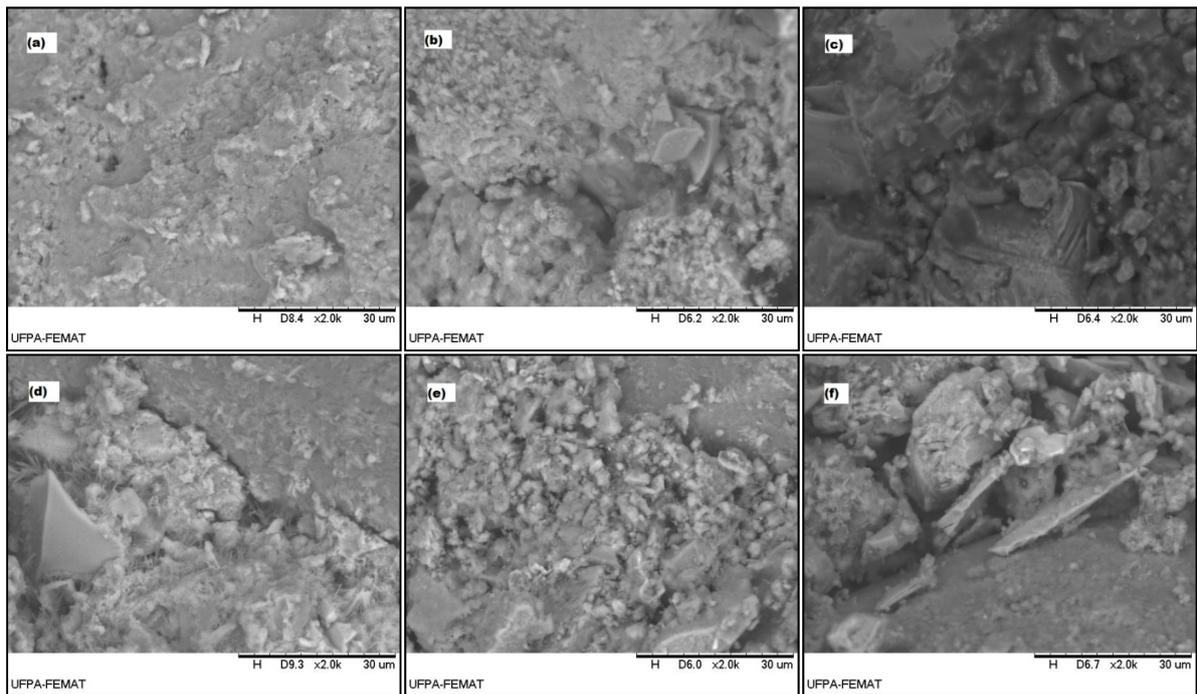


Figura 11. Micrografias eletrônicas de varredura das amostras com teores de (a) 0%; (b) 10%; (c) 20%; (d) 30%; (e) 40%; e (f) 50% de EFP e 28 dias de cura.

4 DISCUSSÃO

4.1 Análise Química

A análise química da EFP através da Fluorescência de Raios-X indica que o percentual de óxido de cálcio é dominante com cerca de 63%, teor que é

proveniente do calcário, o qual é utilizado durante o processo de refinamento do ferro gusa, já o teor de sílica é de cerca de 27%, e o restante é constituído de óxidos metálicos que são gerados durante o processo de produção do aço.

4.2 Ensaio de Resistência à Compressão

O acréscimo da EFP na formulação tornou o concreto, no seu estado fresco, mais elástico, resultando na diminuição de sua plasticidade. A adição da EFP na mistura do concreto resultou na diminuição da resistência à compressão dos corpos de prova. Dado este comprovado pelo gráfico de resistência a compressão apresentado nas Figuras 6 e 7, onde se percebe que na medida em que a EFP era acrescida à mistura, sua resistência apresentava um valor menor ao anterior. No traço feito sem a adição de EFP, a resistência atingida foi de 31.000 kgf e de 28.000 kgf, com 14 dias e 28 dias, respectivamente. Tal comportamento é provavelmente devido ao fenômeno de expansão da escória mediante hidratação. A EFP tem um alto teor de CaO e este em presença de umidade, hidrata formando o Ca(OH)_2 . Esta hidratação promove a expansão volumétrica da escória gerando o aparecimento de trincas e comprometendo a resistência mecânica do material.

4.3 Ensaio de Absorção Relativa de Água

O ensaio de absorção relativa de água é bastante relevante a ser considerada, pois tem reflexo direto na qualidade do bloco produzido, bem como das condições de serviço do pavimento. Blocos de concreto que absorvem muita água, em geral são menos resistentes, além de poderem absorver e comportar elementos químicos mais facilmente, causando, por exemplo, eflorescências que prejudicam o aspecto do pavimento.

Assim, pode-se analisar nos gráficos que com base no traço de referência, os blocos com 10%, 20% e 30% de adição de EFP, tanto com 14 dias ou com 28 dias, apresentam porcentagens de absorção com valores razoavelmente baixos e parcialmente estáveis.

4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Através das imagens MEV obtidas da superfície da fratura é possível observar na microestrutura do concreto as três fases que são de grande importância: agregado, matriz cimentícia e uma matriz bem definida entre estas, denominada interface matriz/agregado ou zona de transição (ZT), alguma porosidade e presença de trincas, provavelmente devido a expansão da escória ocasionada pela hidratação do CaO.

A interface da matriz cimentícia e do agregado é um ponto importante no estudo da microestrutura do concreto, pois esta fase é o ponto fraco do material em relação à resistência mecânica do concreto, e suas características e componentes são determinantes nas características futuras do concreto endurecido, com relação à resistência mecânica e durabilidade.

Assim, quando o cimento entra em contato com a água, os compostos se hidratam e preenchem os espaços originalmente ocupados pela água e este preenchimento é tanto maior quanto menor a relação água/aglomerante (a/ag).

O concreto endurecido é composto por hidratos pouco cristalinos como: Silicato de Cálcio Hidratado; os sulfoaluminatos mais cúbicos e cristalinos e também o hidróxido de cálcio que é mais hexagonal e cristalino.

A hidratação do cimento resulta numa estrutura complexa composta de grãos de cimentos anidros, produtos da hidratação e poros, por isto então, o estudo microestrutural é importante devido à variabilidade de componentes que determinam as características dos concretos, porém eles só podem ser estudados mediante técnicas apropriadas, pois são dimensões microscópicas e variam de uma gama de tamanhos conforme suas características, métodos de fabricação, tempo de cura, aplicação e outros.

De acordo com as Figuras 10 e 11 é possível observar que as micrografias mostram que a interface matriz-agregado apresenta maior aderência e aspecto menos poroso para as amostras com idade de 28 dias, revelando que o tempo de cura de 14 dias foi insuficiente para a consolidação desta interface.

Nos blocos em que o teor de escória supera 20% revela que o teor de silicato é inferior ao requerido comprometendo dessa forma a qualidade da interface que por sua vez refletiu no desempenho mecânico do material resultando em baixas resistências, tal comportamento pode ser observado nos resultados de resistência a compressão para os blocos com adição de 30% a 50% de escória.

Enfim, o acréscimo de escória na composição dos blocos foi o fator que influenciou a qualidade matriz-agregado, provocada pelo aumento da porosidade e aparecimento de trincas justificando dessa forma a diminuição da resistência mecânica.

5 CONCLUSÃO

Os métodos e experimentos descritos neste trabalho permitem concluir que é possível realizar a fabricação de blocos intertravados de concreto com escória de forno panela proveniente da aciaria da indústria siderúrgica.

Dessa forma, com o devido ajuste da composição química da mistura, formando o traço necessário para todas as formulações avaliadas, sendo as mesmas com teores de 0% (traço padrão), 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de substituição parcial do cimento por escória de forno panela EFP, obteve-se então os blocos desejados.

Embora a adição de EFP reduza o desempenho do BCP em todas as propriedades investigadas, é sabido que a sazonalidade (Gaidzinski, 2006) possa evitar o fenômeno de hidratação e com isso evitar a queda nas propriedades tecnológicas de concretos com adição de escórias ricas em CaO.

Assim, é evidente o fato de que a fabricação de blocos intertravados de concreto com adição de EFP para pavimentação é bastante viável, pois além de reduzir custos de produção, este material tem como principal foco e objetivo o desenvolvimento sustentável, o qual investe em tecnologias e ideias para uma recuperação e/ou preservação do meio ambiente em geral, mas com ênfase no aproveitamento de resíduos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Sinobras pelo fornecimento da escória, a Empresa WM Engenharia e a Faculdade de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará, os quais colaboraram para a confecção dos blocos e a realização dos ensaios mecânicos.

REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9780 - Peças de concreto para pavimentação – determinação da resistência á compressão – método de ensaio-1987.**
- 2 Associação Brasileira de Normas Técnicas.. **NBR 9781 - Peça de concreto para pavimentação – especificação – 1987.**
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas.. **NBR 7211 - Agregado para concreto – especificação – 2005.**
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas.. **NBR 5736/5737. Cimento portland pozolânico – especificação – 1991.**
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas.. **NBR 12118. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: determinação da absorção de água, teor de umidade e área líquida.** Rio de Janeiro – 1991.
- 6 GAIDZINSKI, Roberta. **Estudo do sazonalimento de argilas para a utilização na indústria cerâmica,** Rio de Janeiro, 2006.
- 7 DOS SANTOS, Anaaiara Varela. BORJA, Edilberto Vitorino. **Avaliação das propriedades mecânicas de blocos intertravados com resíduo de pneu reciclado.** Natal, 2002.
- 8 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Classificação dos Agregados Siderúrgicos Resultados da Campanha Conjunta de Classificação.** Rio de Janeiro, 1997.¹
- 9 MASUERO, A. Borges. Et.al. **Emprego de escórias de aciaria elétrica como adição a concretos.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.
- 10 PAGNUSSAT, Daniel Tregnago. **Utilizacão de escória granulada de fundicao (efg) em blocos de concreto para pavimentacao.** Porto Alegre, Junho, 2004.
- 11 QUEIROZ, Marluce Teixeira Andrade. DOS SANTOS Graziella Pereira Pires. Caldeira, Brenner Rodrigues. OLIVEIRA, Cleider Lima. **Resultados preliminares: utilização da escória de alto forno a carvão vegetal em estruturas de concreto.** SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, São Paulo.
- 12 SEUESP, Secretaria Urbana Estadual. **Instrucao para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto.** Prefeitura de São Paulo. São Paulo, 2000.
- 13 T&A Blocos e Pisos. **Manual Técnico de Piso Intertravado de Concreto.** Rio de Janeiro, 2000.