

Produção e caracterização de argamassas não estruturais a partir de resíduos do processo siderúrgico do ferro Gusa (Escória de Alto Forno) do Estado do Pará

Production and characterization of non-structural mortars from waste from the steel process of iron Gusa (Slope of Alto Forno) of the State of Pará

DOI:10.34117/bjdv7n3-543

Recebimento dos originais: 10/02/2021

Aceitação para publicação: 20/03/2021

Janne Caroline Silva dos Anjos

Mestranda em Engenharia de Processos

Instituição: Universidade Federal do Pará - UFPA Endereço: 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: jannedosanjos@hotmail.com

Hellen Carvalho Barros

Mestre em Engenharia Química – PPGEQ

Instituição: Universidade Federal do Pará – UFPA. Endereço: 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: hellencarvalho_22@hotmail.com

Dilson Nazareno Pereira Cardoso

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia – PRODERNA

Instituição: Universidade Federal do Pará - UFPA Endereço: 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: dnpcardoso@gmail.com

Alcebiades Negrão Macêdo

Doutor em Engenharia de Estruturas

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, EESC-USP, Brasil
Endereço: 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: anmacedo@ufpa.br

Edilson Marques Magalhães

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia – PRODERNA

Instituição: Universidade Federal do Pará – UFPA

Endereço: 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: magalhaes@ufpa.br

José Antônio da Silva Souza

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia – PRODERNA

Instituição: Universidade Federal do Pará - UFPA Endereço: 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: jass@ufpa.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a produção e caracterização de argamassa e do resíduo escória de alto forno (EAF). Para isso foram utilizadas as técnicas de difração de raios-X DRX, análise granulométrica a laser, dentre outros índices que a caracterizam como agregado miúdo para argamassa. Para a produção das argamassas, foram feitos traços de diferentes porcentagens de materiais e resíduo de EAF nas proporções 400g de (cimento Portland, areia e escória). O cimento utilizado foi do tipo CP II E - 32, nas proporções de 30 e 25 %, e resíduo de EAF nas proporções de 20%,30%,40% e 50%, utilizando uma relação água/aglomerante de 40%. Após o processo de cura, foi possível analisar os corpos-de-prova por meio de ensaios físicos: absorção por imersão, DRX e ensaio de resistência à compressão. Verificou-se que ocorreu um elevado aumento da resistência à compressão em todos os corpos de prova, principalmente para os traços 02 e 04. Esse aumento foi mais acentuado, quando se compara com corpos de prova de referência.

Palavras-chave: Argamassas, Resíduos, Escória de alto forno, Ferro Gusa.

ABSTRACT

This work aims to produce and characterize mortar and blast furnace slag (BFS). For that, the X-ray diffraction technique, X-ray granulometric analysis, among other indexes that characterize it as fine aggregate for mortar were used. For the production of mortars, traces of different percentages of materials and EAF residue were made in the proportions 400g of (Portland cement, sand and slag). The cement used was of the type CP II E - 32, in the proportions of 30 and 25%, and BFS residue in the proportions of 20%, 30%, 40% and 50%, using a water / binder ratio of 40%. After the curing process, it was possible to analyze the specimens by means of physical tests: immersion absorption, XRD and compressive strength test. It was found that there was a high increase in compressive strength in all specimens, especially for lines 02 and 04. This increase was more pronounced when compared to reference specimens.

Keywords: Mortar, Waste, Blast Furnace Slag, Pig Iron.

1 INTRODUÇÃO

O setor siderúrgico é um dos principais geradores de divisas para o estado. Assim, a produção de ferro-gusa proveniente dos altos-fornos, é uma atividade geradora de resíduos sólidos, os quais se não dispostos adequadamente podem se constituir em fontes poluidoras dos ecossistemas ambientais. O processo de reciclagem de resíduos gerados pelas indústrias para uso como material alternativo não é novidade, e tem sido feito com efetivo sucesso em outros países (COIMBRA, 2004).

A indústria da construção civil é o ramo da atividade tecnológica que pelo grande volume de recursos naturais consumido, parece ser bastante indicado para absorver estes resíduos sólidos (CARDOSO et al, 2020)

A escória de alto forno é um produto gerado na fabricação do ferro gusa, sua formação ocorre pela combinação química das impurezas do minério de ferro com

calcário e dolomita e as cinzas de carvão mineral (GRUEN, 1921), durante a produção do ferro gusa a EAF flutua na parte superior do ferro fundido no estado fluido, localizado na parte inferior do forno, dessa forma, protegendo o mesmo de se reoxidar por meio do jato de ar quente que funde através do forno (FLEISSNER, 1912)

A formação da escória de alto-forno a carvão vegetal é gerada quando da eliminação de impurezas, ou “gangas”, inerentes aos metais em seu estado natural, provenientes da adição de coque ou carvão vegetal, como combustível e um fundente que, em geral é o calcário, originando um material constituído fundamentalmente por sílico aluminatos de cálcio e, secundariamente, por sulfetos de cálcio e manganês, além de óxidos de ferro e manganês (BATTAGIN et.al, 2002).

Pesquisas sobre aproveitamento dos mais variados tipos de resíduos estão sendo intensificadas no mundo inteiro. Em alguns países como os Estados Unidos, a reciclagem é vista pela iniciativa privada como um mercado altamente rentável. Diversos setores têm investido em pesquisas e tecnologias, visando melhorias na qualidade do produto reciclado, além de propiciar maior eficiência do sistema produtivo.

O estudo da aplicação das EAF na tecnologia de cimento e argamassas processo mostra que escórias com maiores quantidades de MgO propiciaram aumento no desenvolvimento da resistência à compressão e formação de hidrotalcita nas pastas em processo de cura, além de diminuição da porosidade na microestrutura. Já a quantidade mais elevada de Al_2O_3 na matéria-prima diminui a taxa de calor liberado na hidratação inicial da escória, mas não sofre influência significativa na resistência final das argamassas, é relatado que a maior incorporação deste componente no composto CSH (Silicatos de Cálcio Hidratados) das pastas hidratadas. O efeito da variabilidade física e química da escória de alto forno ainda não foi bem entendido, proporcionando forte impulso para investigação nesta área (BEN HAHA et al 2011).

O objetivo dessa pesquisa é a produção de argamassa e a caracterização físico-química e mineralógica do resíduo (EAF) utilizado como agregado miúdo em sua constituição. Também inserir materiais residuais aproveitáveis dentro da indústria da construção civil, tendo como foco principal a reutilização de resíduos sólidos gerados na indústria metalúrgica do Ferro gusa do estado do Pará.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA

Parte da caracterização de um material compreende a sua granulometria, em que se determina o tamanho da partícula e a determinada faixa de tamanho em que essa ocorre em uma determinada frequência (LIMA e DA LUZ, 2001).

Para a análise granulométrica das matérias primas foi utilizado o equipamento laser particle sizer analysette 22 Fritsch com software Ma Scontrol para a aquisição dos dados experimentais. Apenas para a areia foi realizada a análise clássica de peneiramento de acordo com as respectivas normas da Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) que são: NBR 6457 e NBR 7181, utilizando a sequência de peneiramento mesh na série #16, #32, #60, 100, #150, #200, #270, #325, #400 e #500

2.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

As amostras dos materiais utilizados nesse trabalho foram avaliadas a partir da metodologia convencional de DRX (pó seco). Inicialmente as amostras foram pulverizadas em gral de ágata, em seguida o material, foi transferido cerca de 0,5 g para portas-amostra de aço inox, utilizado como suporte, todo o conjunto foi fixado em uma base metálica. Depois do processo de preparo dos materiais as amostras seguiram para a realização dos ensaios. As análises foram realizadas em um difratômetro de raios-X do modelo *X'Pert Pro MPD (PW 3040/60) PANalytical*, com goniômetro PW3050/60(θ - θ) e com tubo de raios-X cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$) modelo PW3373/00, foco fino longo, filtro $K\beta$ de Ni, detector X'Celerator RTMS (*Real Time Multiple Scanning*) no modo *scanning* e com *activelength 2,122°*. Foram usadas as seguintes condições instrumentais: Varredura 4° a $75^\circ 2\theta$, 40 kV, 30 mA, passo $0,02^\circ$ em 2θ e tempo/passo de 20 s, fenda fixa $1/4^\circ$ e anti-espalhamento $1/2^\circ$, máscara 10 mm, movimento da amostra spinning, com 1 rps. O equipamento utilizado pertencente ao laboratório de geociências da UFPA.

2.3 ELABORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a confecção dos corpos de prova, a metodologia foi baseada na norma NBR - 7215 (ABNT, 2004). Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos (dimensões 5 cm x 10 cm). Utilizou a metodologia proposta por CARDOSO, 2020 em que utilizou-se corpos de prova de tamanho reduzido devido a fatores como o baixo consumo de material e moldagem e desmoldagem rápidas. Cada traço foi elaborado em triplicata, sendo um

total de 15 corpos de prova. Os corpos de prova de argamassa ficaram em processo de cura por um período. A partir dessa dimensão foi calculado o volume de cada forma, a fim de que com os valores correspondentes aos traços possam ser dimensionadas as quantidades dos materiais que entraram na composição da argamassa de 28 dias, sendo que no 14º dia os mesmos foram dês moldados NBR 5738. Após esses dias foram realizados os ensaios físicos-mecânico de acordo com a ABNT NBR 9778, 13280 e 13279, com o objetivo de avaliar as propriedades das argamassas.

Portanto, se 1 corpo de prova utilizou 400g, para 3 (triplicata), corpos de prova foi necessário 1200g. Dispondo do total de aglomerante, calculou-se a quantidade de cada material que foi necessária para a dosagem. Com isso, tem-se:

Cimento – 30% (1200g x 0,3 = 360g)

Escoria – 20% (1200g x 0,2 = 240g)

Areia de convencional – 50% (1200g x 0,5 = 600g)

Para o processo de hidratação das pastas foi estabelecida a metodologia realizada por (CARDOSO, 2020) que utilizou a relação H₂O/ aglomerante de 40% como mostra a Equação 01 obedecendo a proporção de 1/3 (cimento/resíduos), estabelecendo corpos de prova em triplicata. A metodologia de confecção dos traços foi feita, misturando os sólidos e em seguida adicionando água de mistura de acordo como estabelecido. Para a completa homogeneização das misturas utilizou-se um misturador mecânico da marca SOLDTEST com capacidade de 130 Litros.

$$40\% = \frac{H_2O}{M_{cimento} + M_{resíduo}} \quad (1)$$

2.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios para determinação da resistência a compressão axial dos CP's das argamassas, foram realizados nos tempos de 28 dias de cura. Para o ensaio de resistência à compressão utilizou-se máquina universal Emic SSH300, célula Trd 30 de acordo com a norma ABNT NBR 13279, no Laboratório de Resistência dos Materiais do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. Os corpos de prova tiveram seus resultados registrados no software TESC 11. A carga aplicada foi crescente em que todo o esforço de compressão foi distribuído de forma transversal em toda seção do corpo de prova.

2.5 POROSIDADE APARENTE

É representada pelo quociente do volume de poros abertos, de cada corpo de prova, pelo volume aparente do mesmo. Calcula-se em %, de acordo com a Eq. 2.

$$Pa(\%) = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

P_a - Porosidade aparente

M_u - Massa úmida (g)

M_s - Massa seca (g)

M_i - Massa imersa (g)

2.6 ENSAIOS

Após a cura de 28 dias dos corpos de prova, realizaram-se os ensaios de porosidade aparente. Os ensaios de resistências à compressão dos corpos de provas de argamassas foram conduzidos em **PRENSA EMIC SSH300** no Laboratório de Materiais de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Federal do Pará.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O prévio conhecimento do tamanho das partículas das matérias primas é um parâmetro fundamental na elaboração dos materiais cimentícios, pois dependendo do seu diâmetro médio, a reação química pode sofrer variação

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos na análise granulométrica do resíduo de escoria de alto-forno, verifica-se que esses valores se encontram na faixa aproximadamente 50,02 μm o que permite enquadrar como de areia fina de acordo com a norma ABNT – NBR 6502. Em relação às principais etapas de caracterizações desses materiais, os resultados permitiram concluir que os resíduos estudados se enquadram dentro das características de agregado miúdo realizados de acordo com as normas NBR 7211/2009, NBR15115/2004.

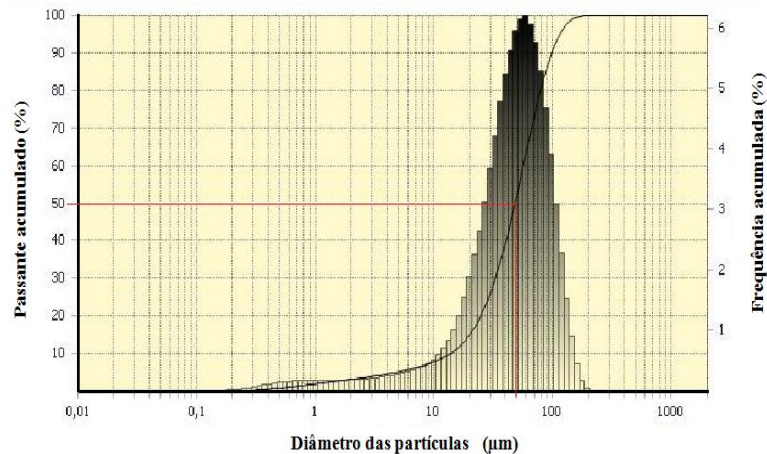


Figura 2 - Distribuição do tamanho de partícula do resíduo de escória de alto-forno

3.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS –X DO RMCS

A composição mineralógica da EAF foi estudado através da difratometria de Raios-X apresentada na Figura 1, a análise mostrou as fases cristalinas presentes em que se encontrou uma maior predominância do Quartzo (SiO_2), apresentando um pico mais ascendente em relação aos picos de Calcita (CaCO_3) e Hematita (Fe_2O_3). Os picos encontrados são típicos de calcita (CaCO_3), em posições e intensidades Figura 1. O material encontra-se, em grande parte, em estado amorfo, o que indica que a sílica presente na escória é amorfa.

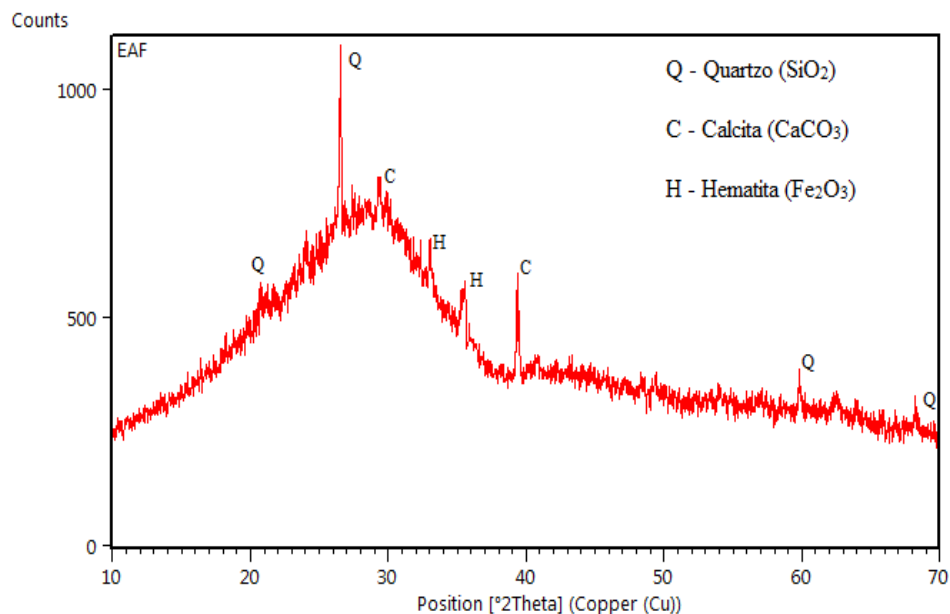


Figura 1 – Difratograma Análise da estrutura cristalina da escória de alto forno por difração de raios-X (DRX)

Os resultados apresentados corroboram com a ideia de que, em virtude de resíduo industrial, depositado ao ar livre para o seu resfriamento, gera associações entre os átomos segundo as próprias afinidades, em cristais, fato denominado vitrificação (FUJIYAMA, 2012 e Pimentel 2019). Além disso, há a verificação da predominância do mineral quartzo e calcita, bem como a presença de hematita em sua análise de DRX.

A análise de DRX da escória, mostra que a escória ao passa por um processo de resfriamento lento em condições ambientes, há sua solidificação em um material cristalino de coloração cinza (Vidro). Esse sólido consiste em silicatos cristalizados (Ca-Mg-Al). Apesar da EAF resfriada lentamente apresentar uma estrutura predominantemente cristalina, suas propriedades aglomerantes ainda podem ser exploradas (MOSTAFA et al., 2001), pois as condições de resfriamento da EAF não é o único fator que determina sua atividade pozolânica (DEMOULIAN et al., 1983). Esses experimentos permitem classificar a escória como um material predominantemente inerte, possuindo propriedades semelhante ao de agregados utilizados na construção civil, que após britagem e separação granulométrica pode ser utilizada como substituto do agregado natural para confecção de concretos (BESHR et al., 2003 ;KALALAGH et al., 2005).O resfriamento rápido da escória com a consequente obtenção de uma escória vítrea ou amorfa é o primeiro indicativo da viabilidade técnica da utilização de uma escória, na fabricação de cimento, que vise a evitar a decomposição da alita ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) que é a principal fase do clínquer de cimento Portland (OLIVEIRA, 2000 ;PINTO JUNIOR 2011).

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A Figura 2 apresenta os resultados dos ensaios de resistência realizados nos tempos de 7 e 28 dias. Verifica-se que ocorre aumento da resistência à compressão em função do tempo em todos os traços. Um elevado aumento da resistência à compressão em todos os corpos de prova, principalmente para os traços 02 e 04, esse aumento foi mais acentuado, quando se compara com corpos de prova de referencia os quais não tiveram EAF em sua constituição. O elevado aumento de resistência nos corpos de prova analisado, foi devido a escoria de alto forno possuir partículas com granulometria bastante finas, resultado de seu processo de vitrificação ocasionando um elevado empacotamento desse material quando em estado fresco. Quanto mais rápido for o resfriamento (resfriamento brusco), maior o grau de vitrificação e maiores as potencialidades

hidráulicas das escórias. O resfriamento rápido, e consequente obtenção de uma escória vítrea ou amorfa.

Estudos realizados por Amancio et al 2020, constatou aumento da resistência à compressão com o aumento de escória. Isto pode ser justificado pela forma irregular dos grãos de escória, há um melhor interação entre a pasta de cimento e os grãos de escória, melhorando a zona de transição.

Contudo, efeito contrário foi constatado por Lacerda 2011, que concluiu que a resistência à compressão da argamassa com agregado de escória foi inferior à argamassa de referência em até em 35% em 7 dias e 12% em 28 dias. Entretanto, no referido trabalho não houve o ajuste granulométrico dos agregados, o que deve ter influenciado nas propriedades mecânicas das argamassas.

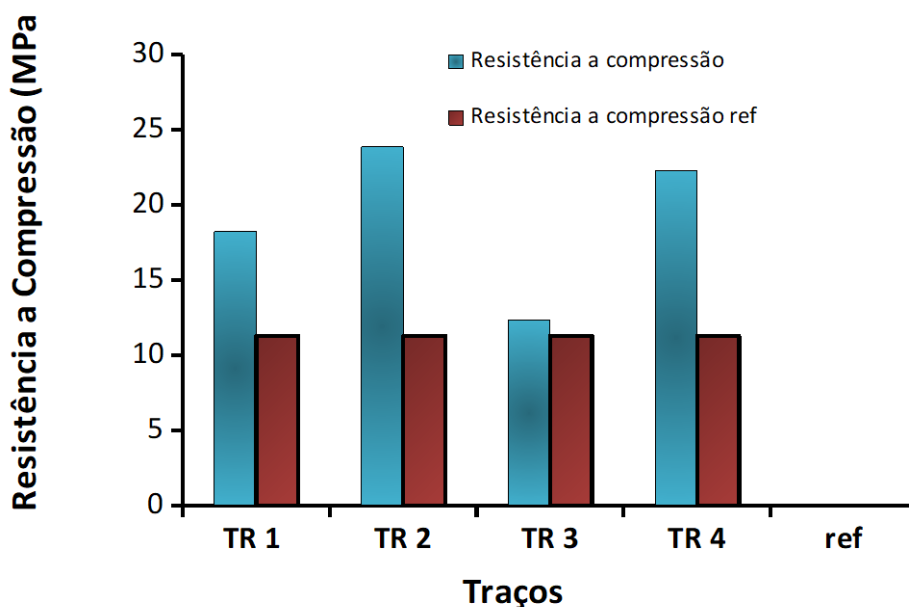


Figura 2 - Gráfico de resistência a compressão das argamassas produzidas

3.3 POROSIDADE APARENTE

No gráfico da figura 3, verifica-se que os corpos de provas aditivados com EAF, tiveram a diminuição dos seus poros em relação aos corpos de prova de referência.

Uma possível explicação para esse caso é que a utilização desse resíduo diminui a quantidade de vazios entre as partículas formadas durante o processo de cura, resultando em uma menor porosidade aparente. Esses efeitos são devido esses materiais influenciarem no empacotamento das partículas, moldagem dos corpos de prova e nas reações de hidratação do cimento durante a cura, diminuindo portanto a porosidade.

Com base nesses resultados, pode-se afirmar que as misturas do resíduo de granito e escória de aciaria usadas no presente trabalho são viáveis tecnicamente para serem

utilizadas na fabricação de cimento, no que se refere à obtenção de um material vítreo ou amorfo. Verifica-se que os corpos de provas aditivados com EAF, apresentaram acentuada diminuição em relação aos corpos de prova de referência. Neste caso, compreende-se que a utilização desse resíduo diminui esse efeito, o que pode ser justificado pela diminuição na quantidade de vazios entre as partículas formadas durante o processo de cura, resultando em uma menor porosidade aparente. Esses efeitos podem ser justificados, devido esses materiais influenciarem no empacotamento das partículas, moldagem dos corpos de prova e nas reações de hidratação do cimento durante a cura, diminuindo, portanto, a porosidade.

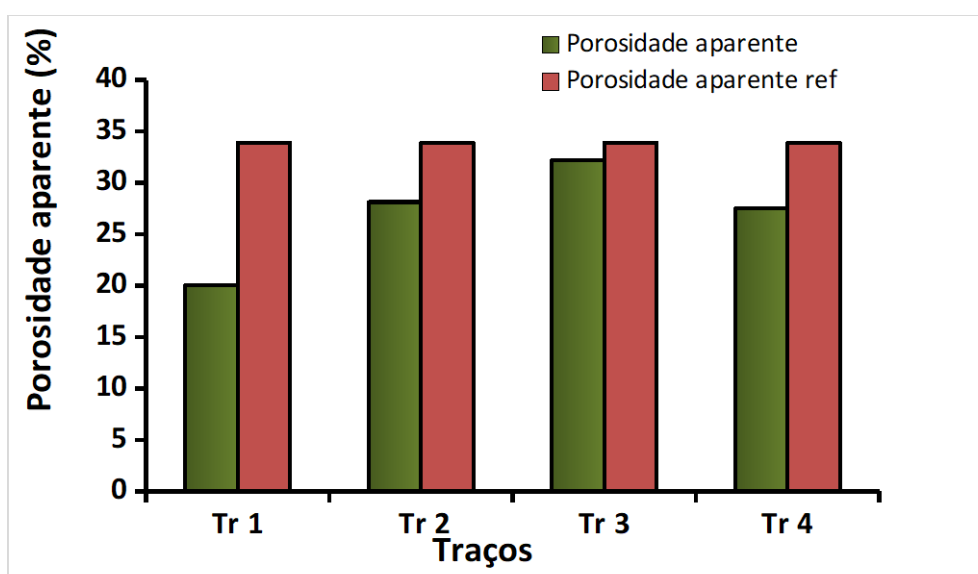


Figura 3 - Gráfico de porosidade aparente

4 CONCLUSÃO

O resíduo (EAF), utilizado nesta pesquisa sob condições experimentais que foram estabelecidas, apresentam grande potencial para utilização em argamassas sem função não estrutural, mas com aplicações de resistência moderada, fator esse importante em relação à pesquisa.

Quanto a caracterização desses materiais as análises de Granulometria a laser mostraram que o material se comporta como areia fina apresentando um D_{50} de aproximadamente 50,02 μm . As análises de DRX mostraram a verificação predominância do mineral quartzo e calcita, bem como a presença de hematita em sua análise sendo que o material encontra-se, em grande parte, em estado amorfo e que os mesmos se enquadram dentro da norma a norma NBR 7211 como agregado miúdo.

Em relação às principais etapas de caracterizações desses materiais, os resultados permitiram concluir que os resíduos estudados se enquadram dentro das características de agregado miúdo e pozolânico realizados de acordo com as normas NBR 7211/2009, NBR 7181/1984, NBR15115/2004.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de processos (PPGEP), dos Laboratórios de Engenharia Civil (UFPA) e da Universidade da Amazônia (UNAMA) pela disponibilização do equipamento de ensaio de resistência a compressão e ao Laboratório de Geociência pelas análises de caracterizações das matérias primas.

REFERÊNCIAS

____ ABNT, “NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Requisitos”, Rio de Janeiro, 2005.

____ ABNT, NBR 7211: “Agregados para concreto” – Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

____ ABNT, “NBR 7215: “Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão”, Rio de Janeiro, 2004.

AMICO, S. C. **Vegetables fibers as multifunctional materials**. Revista Matéria, v. 15, n. 2, p. 386-395, 2010

AMANCIO, F.A.; LIMA, D.A.; DIAS, A.R.O., et al. **Propriedades mecânicas de argamassas com substituição da areia natural por escória de aciaria BSSF (baosteel's slag short flow)** revista Matéria, v.25, n.1, 2020.

BATTAGIN, A. F., et al.. Influência das Condições de cura em algumas propriedades dos concretos convencionais e de alto desempenho. 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, IBRACON, 2002.

BEN HABA, M., LE SAOUT, G., WINNEFELD, F., et al., “**Influence of activator type on hydration kinetics, hydrate assemblage and microstructural development of alkali activated blast-furnace slags**”, Cement and Concrete Research, v. 41, ed. 3, 301–310 p., 2011.

BESHR, H., ALMUSALLAM, A.A., MASLEHUDDIN, M., 2003. **Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete**. Constr. Build. Mater. 17, 97–103.

CARDOSO, D. N. P.; CARDOSO, D. N. P. ; MACEDO, A. N. ; MACÊDO, E. N. ; RACANELLI, L. A. ; SANTOS, W. G. ; RODRIGUES, E. C. ; OLIVEIRA, R. M. ; SILVA, J. A. . **Influence of the mixed water content on the mechanical and rheological properties of mortars made with sulfacted copper floating waste fines**. Brazilian Journal of Development, v. 6, p. 41123-41130, 2020.

CARDOSO, D. N. P.; MACEDO, A. N. ; Macêdo, E.N. ; RACANELLI, L. A. ; ALVARES, L. E. A. E. ; TROMPS, A. C. P. ; ANJOS, C. S. O. ; MAGALHAES, E. M. ; SOUZA, J.A.S ; BARROS, H. C. . **Influence of the Use of Waste from Civil Construction and Brown Leather Sawing in the Mechanical Properties of Mortars**. Brazilian Journal of Development, v. 6, p. 86130-86140, 2020.

COIMBRA, M. A; LIBARDi, W.;M. R. MORELLI. **Utilização de rejeitos de pilha zincocarvão em argamassas e concretos de cimento Portland**. Revista Cerâmica. Vol. 50. n.316. p. 300-307. 2004.

DEMOULIAN, E.; GOURDIN, P.; HAWTHORN, F.; VERNET, C. **Influence of slags chemical composition and texture on their hydraulicity, 7º International Congresso n the Chemistry of Cement**. Paris, 1980

FLEISSNERN, H. **Blast furnace slag and Its applications – an importante by-product of the iron industry.** Scientific American, v. 72, p. 386-400, 1912

FUJIYAMA, K. **Crystallographic observation and delamination damage analyses for termal barrier coatings under termal exposure.** In: BORISENKO, E. Crystallization and materials Science of modern artificial and natural crystals. Intech, 2012. Cap. 1, p.1-21.

GRUEN, R. Blast furnace slag – **what It Is, and how It my be used as a building materials.** Scientific American, v. 125, p. 265-280, 1921

KALALAGH, A., MARANDI, S., SAFAPOUR, P. **Technical effects of air cooled blast furnace slag on asphalt mixtures.** Journal Transportation Research, v. 2, 199-206 p.,2005.

LIMA, R.M.F. e DA LUZ, J.A.M. **“Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional”:** lei de Stokes. Rev. Escola de Minas, v. 54, n. 2, Ouro Preto, abr/jun., 2001.

MOSTAFA, N. Y.; EL-HEMALY, S. A. S.; AL-WAKEEL, E. I.; EL-KORASHY, S. A.; BROWN, P. W. Characterization and evaluation of the hydraulic activity of water-cooled slag anda ir-cooled slag. Cement and Concrete Research, v. 31, p. 899-904, 2001

OLIVEIRA, I., STUDART, A., PILLEGI, R., PANDOLFELLI, V. Dispersão e em pacotamento de partículas – Princípios e aplicações em processamento cerâmico.**18ª ed. São Paulo, Fazendo Arte, 2000**

PIMENTEL M. G, VASCONCELOS,A.L.R., PIKANÇO M.S., SOUZA J.V.B, MACÊDO, A. N. **Characterization of blast furnace slag from industrial waste aiming its use in construction.** Brazilian Applied Science Review, Braz. Ap. Sci. Rev., Curitiba, v.3, n. 2, p. 895-907, mar./abr. 2019.

PINTO JUNIOR, L., BORLINE, M., PEIXOTO, R., & OLIVEIRA, J. **Adição de resíduo de manta cerâmica em argamassa.** Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), 2011.