



## **Estudo do comportamento mecânico de blocos produzidos com escória de aciaria elétrica visando à aplicabilidade em Alvenaria Estrutural**

### **STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF BLOCK PRODUCED WITH STEEL SHOP SLAG AS AGGREGATE AIMING AT APPLICABILITY TO MASONRY STRUCTURES.**

Januzzi, R. V. (1); Cristeli, P. S.(2), Cury, A. A. (3), Peixoto, R. F. (4)

(1) *Mestrando Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil*

(2) *Bolsista CAPES – Iniciação Científica*

(3) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil – UFJF*

(4) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil – UFOP*

*Campus Morro do Cruzeiro, Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas – Ouro Preto, MG*

## **Resumo**

Atualmente, a geração de resíduos sólidos oriundos de processos industriais diversos é um fator preocupante. Esse é o cenário vivido tanto pelo setor siderúrgico quanto pela construção civil, líderes na geração de rejeitos e consumo de recursos naturais. No setor siderúrgico tem-se a geração da escória de aciaria, caracterizada como resíduo, e a de alto-forno, utilizada como matéria-prima para a indústria cimenteira. Com a finalidade de transformar a escória de aciaria em matéria-prima para a construção civil, diversas técnicas vêm sendo desenvolvidas para utilização e aplicação destes rejeitos. Este é o caso dos blocos, com fins estruturais, confeccionados a partir do emprego da escória de aciaria como agregado. Esse resíduo siderúrgico, decorrente da transformação do ferro gusa em aço - seja pelo processo LD (Linz-Donawitz) ou pelo processo do arco elétrico - vem se tornando um grande passivo ambiental para siderurgia. Visando a sua reutilização, propõe-se, neste trabalho, o emprego da escória de aciaria na produção de blocos de alvenaria com fins estruturais. O uso deste tipo de material é vantajoso principalmente quando se analisa o aspecto ambiental, dado que o meio ambiente recebe atualmente grande parte deste rejeito das siderúrgicas. Na literatura atual não foram encontrados estudos que caracterizem o comportamento mecânico desses blocos quando submetidos ao esforço de compressão. Análises numéricas e experimentais nos blocos já produzidos estão sendo realizadas, comparando-se as resistências apresentadas nos ensaios experimentais àquelas encontradas em modelagem numérica, via método dos elementos finitos. Desta forma, torna-se possível avaliar a utilização destes blocos como elementos portante da edificação.

*Palavras-chave: Escória de aciaria, Alvenaria Estrutural, Sustentabilidade*

## **Abstract**

*Currently, the generation of solid waste originating from various industrial processes is a worrying factor. This is the scenario experienced by both the steel industry and by construction, leaders in the generation of waste and consumption of natural resources. In the steel sector has been the generation of steel slag, characterized as waste, and the blast furnace, used as raw material for the cement industry. In order to transform the steel slag into raw materials for construction, various techniques have been developed for use and application of these tailings. This is the case of blocks with structural purposes, made from the use of steel slag as aggregate. This steel residue from the processing of pig iron into steel - is the process LD (Linz-Donawitz) or by the electric arc process - is becoming a major environmental liability for steel. Aiming its reuse is proposed in this paper, the use of steel slag in producing masonry block with structural purposes. The use of this type of material is particularly advantageous when analyzing the environmental aspect, given that the environment is currently receiving much of this waste of steel. In the current literature no studies characterizing the mechanical these blocks when subjected to compressive stress behavior were found. Numerical and experimental analyzes on the blocks produced are now being conducted, comparing the*



Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2014  
Outubro / 2014

© 2014 - IBRACON - ISSN 2175-8182



*resistances shown in experimental studies to those found in numerical modeling, via the finite element method. Thus, it becomes possible to evaluate the use of blocks as elements of construction tant.*  
*Keywords: Steel slag, Structural Masonry, Sustainability*



## 1.1 Alvenaria Estrutural

### 1.1.1 1.1.1 Histórico

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo no qual se utilizam blocos de concreto ou tijolos cerâmicos para a construção da estrutura da edificação. Esses materiais são utilizados pois apresentam principalmente alta resistência à compressão. Unidos por argamassa, compõem o elemento responsável por absorver e dissipar os esforços impostos à edificação (peso-próprio, esforço de vento entre outros).

No Brasil, a alvenaria estrutural só teve o seu início por volta da década de 1960. A cronologia das edificações realizadas com blocos vazados estruturais é um pouco controversa, mas, pode-se supor que os primeiros edifícios construídos no Brasil tenham surgido em 1966 na cidade de São Paulo. A disseminação desse método construtivo se deu por volta da década de 80 com a construção de conjuntos habitacionais financiados pelo poder público. (CORRÊA, et al., 2003)

Outro setor de grande relevância para a economia nacional é o setor siderúrgico que, cada vez mais, vem aumentando sua produção em função da crescente demanda pelo aço. Estima-se, segundo o Instituto Brasileiro do Aço, que a produção de aço no Brasil vem superando 34 milhões de t/ano.

Como consequência ao aumento da produção de aço tem-se o crescimento da geração dos resíduos sólidos decorrentes do processo de produção como, por exemplo, a escória de aciaria e a escória de alto forno.

Considerando de um lado, o setor siderúrgico, como gerador de riqueza para a economia nacional mas também de grande massa de rejeitos oriundos dos processos de produção de aço, e de outro lado, o setor da construção civil, motivado pela crescente economia e pelo déficit habitacional, o que se propõe neste trabalho é incentivar a produção de blocos para alvenaria estrutural produzidos a partir da substituição integral dos agregados naturais por agregados reciclados de escoria de aciaria. Assim, tem-se uma opção à fabricação de Blocos de Escória de Aciaria Elétrica (BE), em substituição dos agregados naturais. Segundo Silva e Peixoto (2012), essa proposta representa uma alternativa tecnológica viável que pode contribuir expressivamente para a redução da utilização dos materiais não renováveis.

O presente trabalho expõe os resultados dos estudos realizados pelo grupo de pesquisa Reciclos - CNPQ - com o objetivo de caracterizar o comportamento mecânico de blocos de concreto para alvenaria estrutural fabricados com escória de aciaria elétrica. Para tal, foram realizados estudos experimentais e numéricos em blocos utilizando-se a areia como agregado, e blocos que empregaram a escória como agregado. A parte experimental do trabalho serviu para coletar informações necessárias à simulação, além de identificar o comportamento mecânico de ambos os elementos.

Inicialmente será abordado a caracterização física das amostras e procedimentos adotados para a coleta de informações e em seguida será abordado o estudo numérico proposto para os blocos.

## 2 Propriedade Mecânica dos Blocos



Tendo em vista que o sistema construtivo em alvenaria estrutural trabalha, principalmente, submetido aos esforços de compressão, as estruturas são dimensionadas de forma que resistam a tal esforço, sendo este o principal parâmetro a ser considerado. Por ser a propriedade mecânica mais relevante, várias outras variáveis estão intimamente relacionados a ela, como, por exemplo, a durabilidade dos blocos.

Segundo Mata (2006) além da resistência à compressão, outros fatores também são considerados para caracterizar a propriedade mecânica dos blocos, sendo eles:

- Resistência à tração;
- Módulo de elasticidade;
- Coeficiente de Poisson.

## 2.1 Resistência a compressão de blocos

A determinação da resistência à compressão dos blocos é prescrita pela NBR 12118 - 2006. A resistência à compressão é definida através da relação entre a carga de ruptura e a área bruta do corpo-de-prova, quando submetido ao ensaio de compressão axial.

Para a execução desse ensaio, os blocos devem ser preparados respeitando as diretrizes estabelecidas pela norma. As superfícies superiores e inferiores das amostras devem ser capeadas com enxofre a fim de se obter a regularização de suas faces. Após esse procedimento, coloca-se o corpo-de-prova na prensa hidráulica de modo que o seu centro de gravidade esteja no eixo de carga dos pratos desse equipamento.

## 2.2 Módulo de elasticidade longitudinal

O módulo de elasticidade ou Módulo de Deformação Longitudinal é uma característica fundamental em análise estrutural. Sabe-se que a relação entre tensão e deformação, para determinados intervalos, pode ser considerada linear (trechos em que a Lei de Hooke é válida).

Para a determinação do coeficiente de Poisson e do módulo de elasticidade dos blocos utiliza-se os dados do ensaio de resistência a compressão e as deformações correspondentes, assim, tem-se a curva tensão x deformação do elemento. O ensaio é regido pela a NBR 8522:2008 que descreve o método de obtenção do módulo de elasticidade tangencial inicial, caracterizando a deformabilidade do concreto submetido às tensões entre 0,5 MPa e 30% da tensão característica de ruptura.

Inicialmente, faz-se o carregamento do corpo de prova à uma velocidade de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s até que seja alcançado uma tensão de aproximadamente 40% da resistência à compressão do concreto ( $\sigma_b$ ). Estes níveis de tensão devem ser mantidos por 60 s. Em seguida, reduz-se a carga à mesma velocidade do processo de carregamento até o nível da tensão básica ( $\sigma_a$ ). Devem ser realizados mais dois ciclos de pré-carga adicionais, obedecendo as mesmas velocidades de carga e descarga, conforme segue ilustrado na Figura 1.

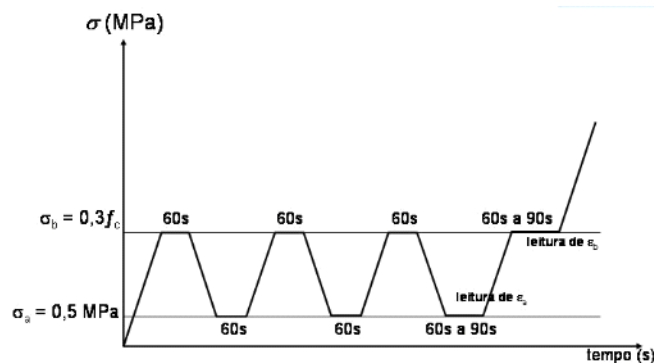


Figura 1 - Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de Elasticidade. (NBR 8522:2008)

O módulo de elasticidade,  $E_{ci}$  (módulo de elasticidade tangencial), em gigapascals, é dado pela equação 01 que segue:

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \cdot 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \cdot 10^{-3} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$\sigma_b$  - tensão maior, em megapascal ( $\sigma_b = 0,3.f_c$ )

$\sigma_a$  - tensão básica, em megapascal ( $\sigma_a = 0,5 \text{ MPa}$ )

$\varepsilon_b$  - deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão maior;

$\varepsilon_a$  - deformação específica dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão básica;

## 2.2 Coeficiente de Poisson

Quando uma força uniaxial é aplicada sobre a peça de concreto ocorre uma deformação longitudinal na direção da carga e, simultaneamente, uma deformação transversal ao contrário (PINHEIRO, et al., 2010). A relação entre a deformação transversal e a longitudinal é denominada coeficiente de Poisson.

Por meio de análises experimentais, obtêm-se as deformações longitudinais e transversais do elemento. Com base na equação 02 é possível determinar essa propriedade de deformabilidade do elemento.

$$\nu = \frac{\varepsilon_{transv}}{\varepsilon_{long}} \quad (\text{Equação 2})$$

## 3 Modelo numérico

O método dos elementos finitos – MEF - é uma técnica das mais utilizadas em análises numéricas, por se tratar de uma ferramenta robusta tanto em termos de desempenho de cálculo quanto em adequação de resultados, se comparada à análises práticas. O MEF tem inúmeras aplicações na área da engenharia, sendo uma delas em aplicações estruturais. Relatos históricos revelam que as primeiras aplicações desse método, em engenharia, foram no ramo da aeronáutica e de estruturas civis, justificando o grande avanço das empresas nesse ramo.

O processo de desenvolvimento de uma análise utilizando software consiste em diferentes etapas. Inicialmente, é necessário um modelo que descreva, da melhor forma





possível, todo o conjunto de parâmetros que é observado no modelo real. Devido à complexidade da estrutura de concreto, existem estudos que mostram diferentes formas de descrevê-lo, como mostra Filho (2003) e Peleteiro (2002). Cada modelo visa obter diferentes resultados, tornando-se de grande importância um estudo aprofundado nessa fase.

Atualmente, percebe-se que, o interesse em simular numericamente o comportamento mecânico de elementos da alvenaria vem ganhando força. Cada vez mais pesquisadores propõem modelos conjugados mais sofisticados e, desta forma, a característica empírica dos cálculos vem sendo substituída por modelos complexos nos quais dão possibilidade de tomadas de decisões com maior segurança.

### 3.1 Modelo Elastoplástico para o concreto

O modelo presente no software ABAQUS®, que é um software para modelagem e análise utilizando o método dos elementos finitos, possui interface de fácil compreensão e apresenta a possibilidade de simular materiais de diferentes propriedades.

O modelo elastoplástico será adotado para simular o comportamento do concreto, pois segundo o manual do software, pode ser aplicado em situações nas quais o carregamento é monotônico e a tensão de confinamento do mesmo é menor do que quatro a cinco vezes a maior tensão de compressão uniaxial. Há, ainda, referência de que a maioria dos modelos de plasticidade agregados ao software utiliza-se a técnica de incrementos, na qual a taxa de deformação é decomposta em uma parcela elástica e a outra inelástica. Peleteiros (2002) explica que, modelos de plasticidade incremental são usualmente definidos em termos de:

- Uma superfície de ruptura – generaliza o conceito de carga de ruptura numa “função teste”, que pode ser utilizada para determinar se o material responde elasticamente em um estado particular de tensões;
- Uma regra de fluxo – que define a deformação plástica que ocorre se o ponto do material não está mais respondendo de forma puramente elástica;
- Lei de evolução – que define o encruamento, a forma ou caminho, com que o modo de ruptura ou fluxo muda conforme as deformações plásticas ocorrem.

O tipo de material é denominado PLASTIC pelo ABAQUS e, sendo adotado as superfícies de von Mises ou Hill com fluxo associativo, conseqüentemente não há a consideração de deformação plástica volumétrica.

Peleteiro, 2002, explica que os dados de entrada para esse modelo são os pontos que definem a curva tensão versus deformação plástica do material. Nos casos em que a não-linearidade da alvenaria for essencialmente devida ao comportamento plástico dos seus componentes, e não devida à fissuração, esse modelo pode simular de forma mais adequada o seu comportamento.

Esse modelo considera que a fissuração é uma das mais importantes diretrizes do comportamento do material, considerando que elas ocorrem na estrutura quando as tensões atuantes atingem a superfície de ruptura definida para o modelo.

Segundo ALI & PAGE (1988), por serem os blocos considerados materiais frágeis apresentando propriedades similares as do concreto, as teorias comumente empregadas para o concreto também podem ser aplicadas aos blocos, empregando-se, dessa forma, o critério de von Mises para a fissuração ou esmagamento.

Esse critério foi formulado por von Mises em 1913 sugerindo que um material, quando deformado por carregamento externo, tende a armazenar energia internamente em todo o seu volume. A energia por unidade de volume do material é chamada de densidade de energia de deformação (BUFFONI, S.d.). A representação analítica da envoltória de tensões de von Mises adotada no modelo numérico está representada na equação 3 como segue, esta equação foi extraída das notas de aula do Prof. Buffoni:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2 - f_c^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$\sigma_1$  = tensão de tração;

$\sigma_2$  = tensão de compressão;

$f_c$  = Resistência à compressão;

$f_t$  = Resistência à tração

Com base na equação 03, faz-se a construção da representação gráfica da envoltória de tensões de von Mises, que é representado na Figura 2 a seguir:

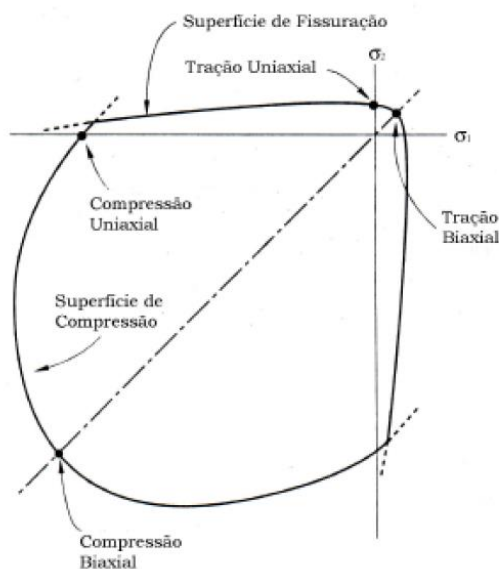


Figura 2 - Critério de von Mises com interrupção na tração. (Manual ABAQUS)

### 3.1 Elemento finito e constituição da malha

Para a modelagem, utiliza-se o elemento finito sólido C3D8 (ABAQUS) com 8 nós por elemento, apresentando interpolação linear entre o nós. Cada elemento apresenta 6 graus de liberdade, sendo três translacionais e três rotacionais nos eixos x, y e z. A seguir, apresenta-se a figura 3 do elemento em questão.

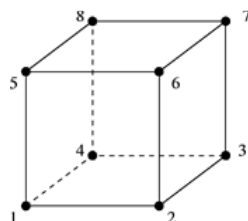


Figura 3 - Elemento C3D8. (Manual do ABAQUS)

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Análise experimental

#### 4.1.1 Resistência à compressão

Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto com agregado natural, BAN, e dos blocos de concreto com escória de aciaria elétrica, BAE, foram obtidos segundo as especificações da NBR 12118 – 2006. As amostras ensaiadas apresentaram idade de cura superior a 56 dias. A figura 4 abaixo revela os dados obtidos nesta análise experimental.

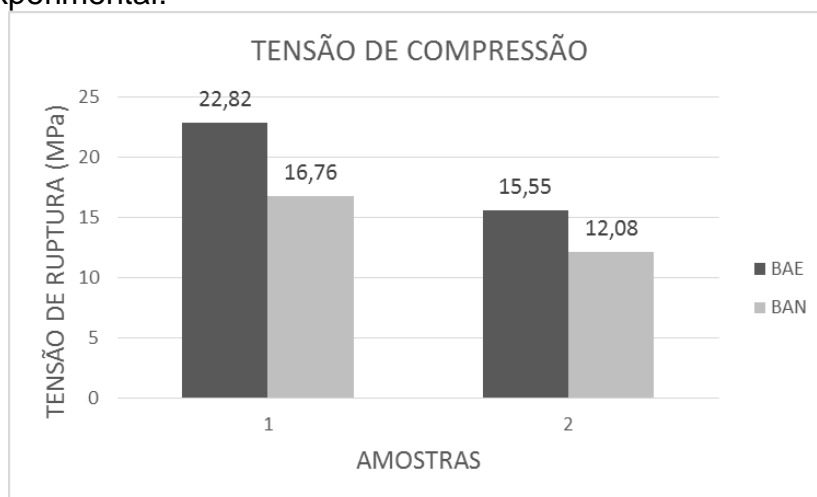


Figura 4 - Resultados do ensaio à compressão dos blocos

Nota-se, a partir dos dados apresentados na figura 4, que as amostras produzidas com escória de aciaria elétrica mostraram maior resistência à compressão quando comparadas com amostras produzidas com areia. Esse comportamento mecânico das amostras de escórias pode ser explicado pelo fato dessa ser um material pozolânico. Assim, a matriz de concreto torna-se mais uniforme se comparado a matriz de concreto que utiliza a areia como agregado.

É importante ressaltar que, as amostras analisadas foram produzidas pela mesma empresa, apresentaram idades de cura idênticas, mesmas dimensões e mesmo traço. O método de ensaio adotado respeitou às prescrições normativas e foi aplicado igualmente a todas as amostras.

#### 4.1.2 Deformação dos blocos



As deformações das amostras foram obtidas por meio dos extensômetros fixados aos blocos. Analisando a variação da resistência elétrica à medida que a amostra foi carregada, obteve-se as deformações de cada unidade em função do carregamento. Assim, na figura 5, expressa-se graficamente os resultados das deformações transversal e longitudinal de uma amostra do BAE e uma amostra do BAN.

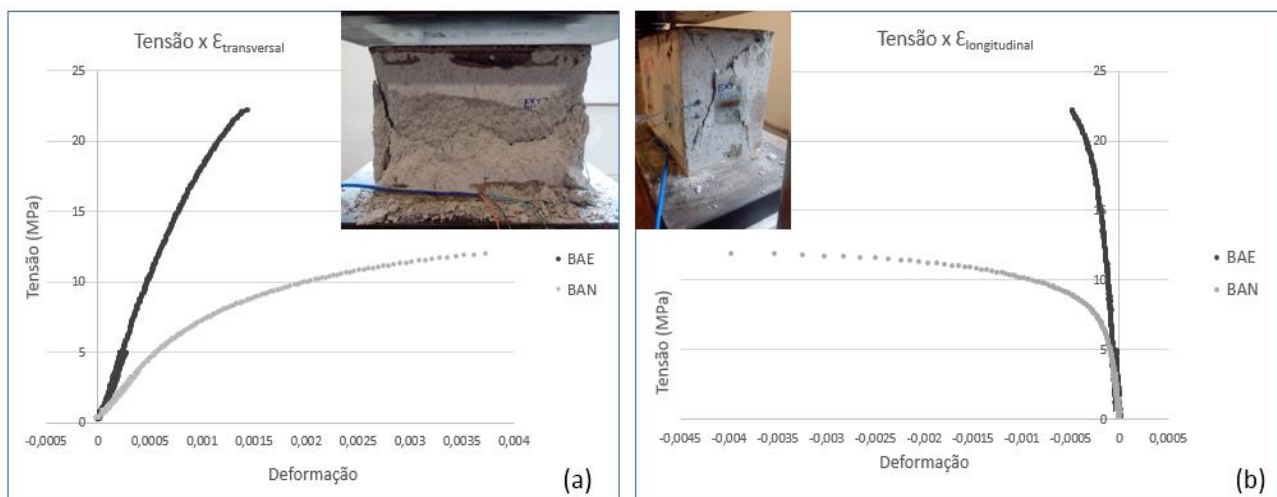


Figura 5 – (a) Tensão versus deformação transversal, (b) Tensão versus deformação Longitudinal

Os dados apresentados na figura mostram que, além da maior resistência à compressão, o bloco produzido com escória de aciaria elétrica apresentou menor taxa de deformação, tanto transversalmente como longitudinalmente. Por outro lado, o bloco natural mostrou-se menos resistente ao esforço de compressão, mas apresentou uma taxa de deformação maior, tanto longitudinalmente como transversalmente. Graficamente nota-se que também há diferença no módulo de elasticidade dos blocos.

Como era de se esperar, o comportamento frágil das amostras foi afirmado pelos dados coletados no ensaio.

#### 4.1.3 Módulo de elasticidade e coef. de Poisson

Uma importante propriedade mecânica que caracteriza os materiais é o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson. Para o primeiro, existe normatizações que regem a determinação desse valor, mas apenas para amostras de concreto. Em se tratando de bloco para alvenaria estrutural, não há normas ou prescrições brasileira que tragam diretrizes específicas para blocos. Portanto, adotou-se a mesma norma utilizada para o concreto, NBR 8522/2008, para determinar o módulo de elasticidade de ambos os blocos, BAE e BAN.

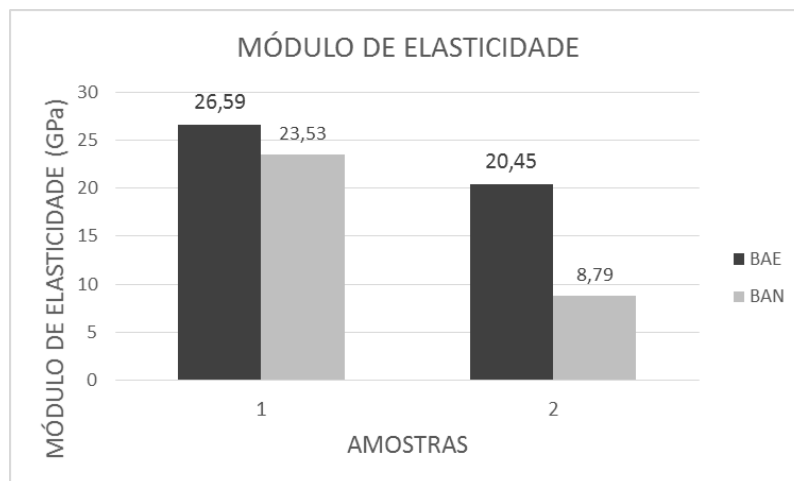


Figura 6 - Módulo de elasticidade longitudinal para os blocos

Os dados apresentados na figura 6 representam o módulo de elasticidade dos blocos de escória de aciaria – BAE- e blocos naturais – BAN. Conforme foi mostrado anteriormente, os BAE's mostraram-se menos deformáveis e mais resistentes ao esforço de compressão. Esse comportamento mecânico decorre de uma maior fragilidade da amostra, fato este que é justificado por um módulo de elasticidade elevado. Já os BAN's, que apresentaram maiores deformações e menores resistência a compressão, mostraram-se frágeis, como era de se esperar, porém menos frágeis se comparados as amostras dos BAE's.

A seguir, na figura 7, estão expressos os valores das deformações de compressão e tração dos blocos quando carregados uniaxialmente no ensaio à compressão.

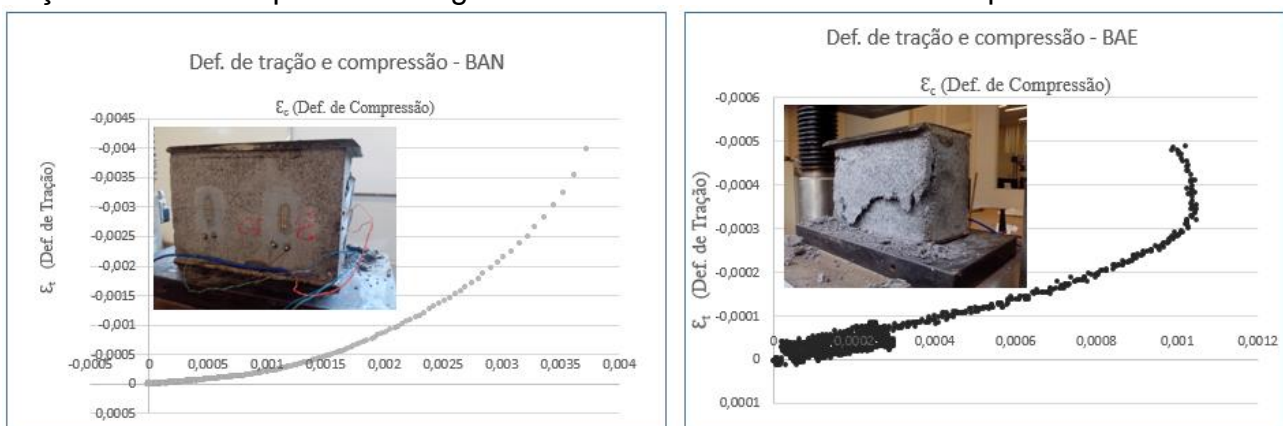


Figura 7 - Comportamento das deformações de tração e compressão do bloco

A partir dos dados apresentados na figura 7, percebe-se que os valores exibem uma certa tendência ao eixo das deformações de compressão. A curva caracteriza a tendência da amostra a apresentar melhor desempenho mecânico à compressão.

Nota-se que, para os blocos de concreto – BAN – para um nível de deformação de compressão de aproximadamente 0,0012 a curva manteve aproximadamente um comportamento linear. Já para os blocos de escória – BAE – os valores mostram um comportamento linear para um nível de deformação de compressão de aproximadamente 0,009. Dessa forma é possível caracterizar o coeficiente de Poisson a diferentes valores

de carregamento. A seguir é mostrado na Tabela 1 os valores do coeficiente de Poisson a medida que há a variação da tensão de compressão no elemento.

Tabela 1 - Variação da tensão de compressão versus a deformabilidade do elemento

Tensão	Coeficiente de Poisson	
	BAE	BAN
0,27. $\sigma_u$	0,242	0,144
0,40. $\sigma_u$	0,247	0,161
0,70. $\sigma_u$	0,262	0,272
0,85. $\sigma_u$	0,287	0,462

Os valores acima demonstram que os blocos produzidos com escória de aciaria elétrica – BAE – apresentam menor variação volumétrica decorrente do esforço de compressão, enquanto os BAN's exibem maiores variações para o mesmo esforço atuante na amostra.

## 4.2 Análise experimental

Para a análise de uma estrutura é importante o conhecimento do comportamento dos elementos constituintes do modelo real e da interação entre eles. Esse comportamento, e as possíveis equações que o descrevem, são estudados por um ramo da Física, chamado de Reologia. Segundo FILHO (2003), existem três tipos básicos de comportamento reológico: o elástico, o plástico e o viscoso. O comportamento dos materiais reais pode ser descrito com maior ou menor precisão pela combinação destes tipos básicos, dando origem aos chamados modelos conjugados.

Em sua obra, Filho (2003) aborda os diferentes tipos de análise computacional empregada na alvenaria estrutural. Adotou-se para a simulação numérica apresentada neste trabalho o modelo discreto com características de deformação não-linear para a unidade e a argamassa. Esse modelo, segundo Filho (2003), é capaz de representar o comportamento nas estruturas em alvenaria, determinar a carga inicial de fissuração, a carga última e o padrão de ruptura com boa precisão. Como não existem muitos estudos que caracterizem os blocos de escória de aciaria elétrica mecanicamente, pois trata-se de um material novo, adotou-se esse modelo a fim de melhor representá-lo.

Utilizou-se o software comercial ABAQUS, para a concepção e simulação numérica utilizando a técnica dos elementos finitos. O modelo empregado é específico para concreto que, considera a fissuração como um fator relevante para a perda de resistência do elemento, sendo que, ela ocorre quando a tensão principal atinge a curva de ruptura da envoltória de von Mises.

### 4.2.1 Diagrama de tensão versus deformação teórica

Após a calibração do modelo numérico com os dados obtidos experimentalmente avaliou-se o quão próximo o modelo numérico ficou dos dados reais.

Ressalta-se que, o modelo numérico foi criado a fim de se obter uma ferramenta para análises mais complexas que, se fossem feitas em modelos reais, ou seriam inviáveis ou impraticáveis. Dessa maneira, é possível realizar estudos mais complexos desse novo material apresentado nesse artigo.

Na figura 8 que se segue, apresenta-se a curva teórica da tensão versus a deformação. Propositamente, acresceu-se ao gráfico os valores apresentados por ALI e PAGE (1988)

que realizaram diversos estudos com blocos de concreto e argamassa para a alvenaria estrutural.

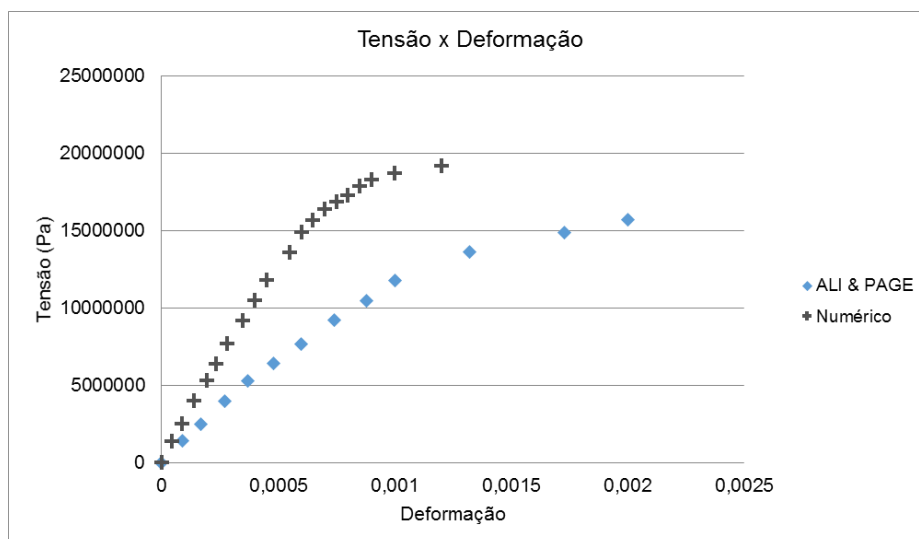


Figura 8 - Gráfico tensão versus deformação obtidas numericamente.

#### 4.2.2 Distribuição de tensões nos blocos

Mohamad (2007) apresentou em seu trabalho um modelo de ruptura típico dos blocos para alvenaria estrutural quando submetidos ao esforço uniaxial de compressão. Em seu trabalho foram realizados ensaios experimentais comprovando que surgem regiões típicas de fissuração para os blocos nessas condições de carregamento.

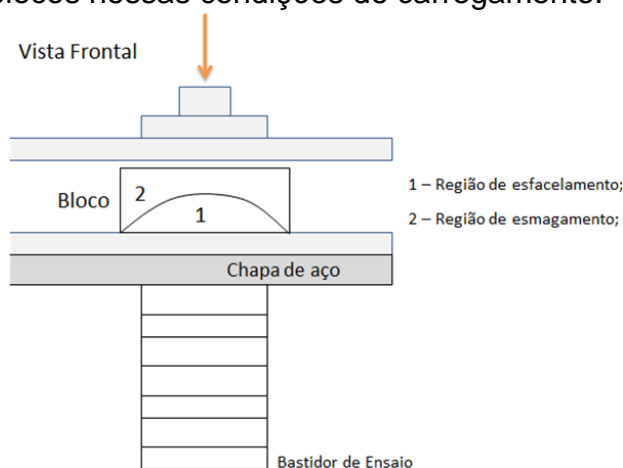


Figura 9 - Vista Frontal de esquema de ensaio e modo de ruptura. Fonte: MOHAMAD (2007)

A figura 9, compilada da obra de Mohamad (2007), mostra a vista frontal do esquema de teste juntamente com o modo de ruptura verificado nos ensaios de compressão dos blocos. O autor explica que, surgem duas formas básicas de ruptura, assinaladas como região 1 e 2. A região 1 caracteriza-se pelo esfacelamento da superfície do bloco gerado pelas tensões biaxiais (essas fissuras são as primeiras a aparecer). O autor explica ainda que na região 2, há o esmagamento das paredes laterais do bloco de concreto, causado pelo deslizamento entre a parte superior do bloco e a região 1.

Esse comportamento é explicado pelas tensões que se propagam ao longo do bloco, formando regiões de acumulo de tensões, enquanto em outros pontos as tensões permanecem menores. Abaixo, na figura 10, mostra-se a distribuição de tensões que ocorre em um bloco submetido ao esforço de compressão uniaxial.

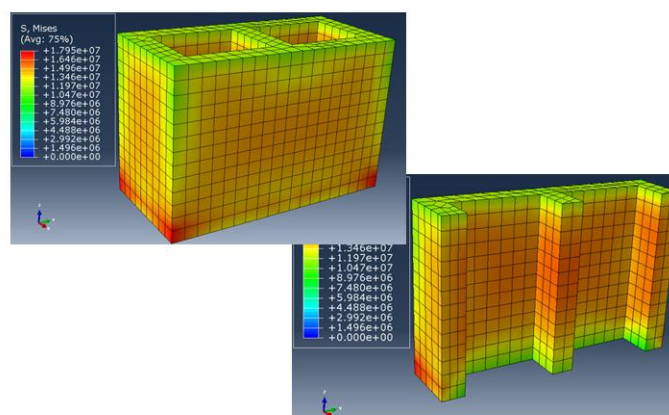


Figura 10 - distribuição de tensões no blocos.

Percebe-se na figura 10 que, no modelo numérico é possível identificar as referidas regiões citadas por Mohhamad (2007). As tensões se distribuem em bielas de compressão formando a região de deslizamento da parte superior sobre a parte inferior (região 1 e 2).

## 5 Conclusão

A utilização da escória de aciaria elétrica como matéria prima para a produção de blocos torna-se viável, pois é uma nova alternativa para a reciclagem de resíduos siderúrgicos que representam um passivo ambiental para essas empresas.

Os resultados experimentais mostraram que os blocos com escória de aciaria exibiram comportamento mecânico semelhante aos blocos convencionais porém mais resistentes ao esforço de compressão.

A formulação numérica representa um potencial para a determinação das propriedades mecânicas para os elementos produzidos com material não convencional. Embora ainda haja a necessidade de aprimoramento do modelo numérico, os resultados preliminares apontam como alternativa à aplicação de escória de aciaria como agregado para a produção de blocos.





## 6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 121118. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: 2007

\_\_\_\_\_. NBR 6136. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural.** Rio de Janeiro: 1994.

\_\_\_\_\_. NBR 8522. **Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** 2008.

ALI, S. e PAGE, A. W. 1988. **Finite element model for masonry subjected to contrasted loads.** *Journal of Structural Engineering*, v.144, 1988.

BUFFONI, S. **Notas de aula da disciplina de Resistência dos Materiais.** Universidade Federal Fluminense.

CORREIA, M. e RAMALHO, M. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** Editora PINI, 2003.

FILHO, A. B. B. **Fundamentos da análise de estrutural de concreto pelo método dos elementos finitos.** Rio Grande do Sul. 2003.

MATA, R. C. **Influência do padrão de argamassamento na resistência a compressão de prismas e mini-parede de alvenaria estrutural de bloco de concreto.** Florianópolis. UFSC. 2006.

MOHAMAD, G. **Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão.** Escola de Engenharia. Universidade de Moinho. 2007.

PELETEIRO, S. C. **Contribuições à modelagem numérica de Alvenaria Estrutural.** São Carlos. 2002.

PINHEIRO, L. et al. **Estruturas de concreto.** 2010

SILVA, K. A. e PEIXOTO, R. A. F. **Blocos de concreto com escória de aciaria para aplicação em Alvenaria Estrutural.** Trabalho de Conclusão de Curso. 2010.