

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI**

**ENGENHARIA CIVIL**

**CAMPUS ALTO PARAPEBA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE BLOCOS DE ARGAMASSA  
PRÉ-MOLDADOS COM ESCÓRIA DE ACIARIA**

**HERYCSO WALKER MENDES SANTOS**

**LUCAS FERRAZ GONÇALVES**

**OURO BRANCO, BRASIL  
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI**

**CAMPUS ALTO PARAPEBA**

**ENGENHARIA CIVIL**

**HERYCSO WALKER MENDES SANTOS**

**LUCAS FERRAZ GONÇALVES**

***AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE BLOCOS DE ARGAMASSA  
PRÉ-MOLDADOS COM ESCÓRIA DE ACIARIA***

Monografia apresentada à coordenação do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**ORIENTADOR: Emmanuel K. da Costa Teixeira**

**COORIENTADOR: Jairo Mendes Barbosa**

**Ouro Branco - MG**

**Julho – 2019**

**HERYCSO WALKER MENDES SANTOS**

**LUCAS FERRAZ GONÇALVES**

***A VALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE BLOCOS DE  
ARGAMASSA PRÉ-MOLDADOS COM ESCÓRIA DE  
ACIARIA***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del Rei, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 03/07/2019

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

Orientador/ UFSJ

---

Prof. Jairo Mendes Barbosa

Coorientador/ UFSJ

---

Prof. Anderson Ravik dos Santos

Avaliador/ UFSJ

Ouro Branco

03 de julho de 2019

*"A Deus, meus pais, ao meu querido irmão e minha amada noiva."*

*(Herycson Walker)*

*"Dedico aos meus anos de esforço no curso de engenharia civil e a todos que me incentivaram nessa trajetória."*

*(Lucas Ferraz)*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Jairo por sua orientação, paciência e incentivo em todas as fases do estudo.

À Técnica de Laboratório Andreia pelo auxílio no manuseio dos equipamentos e na realização dos ensaios de laboratório.

Ao sr. Leandro Signoretti pelo fornecimento do material e pelo compartilhamento de informações importantes a respeito destes.

Ao Professor Emmanuel pela recepção e oportunidades concedidas ao longo da graduação.

A todos que, de alguma forma, nos incentivaram e colaboraram com o nosso trabalho.

Nossos sinceros agradecimentos.

*“O temor do Senhor é o princípio da sabedoria...”*  
*Provérbios 9:10*

*“A simplicidade é o último grau da sofisticação.”*  
*Leonardo da Vinci*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação de artigo publicados por ano que relacionam o uso de escória de aço com concreto.....	13
Figura 2 - Aquedutos Romanos.....	15
Figura 3 - Conjunto de peneiras para ensaio de granulometria.....	20
Figura 4 - Procedimento de preparação do corpo de prova (Capeamento).....	24
Figura 5 - Curvas Granulométricas.....	25
Figura 6 - Gráfico de inchamento da escória.....	29
Figura 7 - Gráfico de inchamento do pó de pedra.....	29
Figura 8 - Resultados da resistência à compressão.....	30

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Ensaio realizados no estudo .....	19
Tabela 2 - Resultados do teor de material pulverulento .....	26
Tabela 3 - Resultados da Densidade.....	27
Tabela 4 - Resultados da massa específica.....	27
Tabela 5 - Resultados do inchamento.....	28
Tabela 6 - Resultados da absorção por imersão .....	31



## RESUMO

O bloco é um dos elementos construtivos mais antigos inventados pelo homem. Mesmo com os contínuos avanços na ciência dos materiais, ele ainda é uma opção recorrente à construção civil e ainda recebe estudos. Quando se trata de blocos de concreto, estes componentes têm na sua composição mais recente água, cimento e agregados miúdos e gráudos. Na atualidade, dois são os tipos que a construção civil adota, os blocos de concreto, formados por água, cimento, areia(ou pó de pedra) e pedra britada, e os blocos de argamassa que apresentam somente os três primeiros componenetes do tipo anterior, ambos possuem finalidade estruturais e de vedação e o que os diferencia no que diz respeito à aplicação é a resistência à compressão. Contudo, comercialmente os dois tipos apresentam a designação de blocos de concreto. Em ambos os casos de aplicação, a fabricação é feita por empresas de materiais cimentícios pré-moldados. Estas empresas, com vistas a melhorarem seus lucros e juntamente colaborarem para uma fabricação sustentável, apostam em subprodutos industriais que podem partipar da composição de seus produtos como agregados, ainda que parcialmente, e assim melhorarem seus resultados. Atualmente, um material bastante utilizado para estes fins é a escória, originada de diversas partes da produção do aço, tais como alto-forno e aciaria. Este trabalho utiliza a escória de aciaria, como agregado miúdo em substituição parcial e total ao pó de pedra, e insvetiga a viabilidade da conformação de blocos para vedação feitos de argamassa com o uso da escória, com o intuito do atendimento da demanda de uma determinada indústria de pré-moldados da região do Alto Paraopeba em Minas Gerais.

Palavras-chave: bloco, argamassa, escória de aciaria.

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Objetivos .....	14
2.1. Objetivo geral .....	14
2.2. Objetivo específico .....	14
3. Revisão Bibliográfica.....	14
3.1. O bloco como elemento construtivo .....	14
3.2. Blocos pré-moldados de concreto e de argamassa.....	15
3.3. Escória .....	16
3.3.1. O problema da reatividade .....	17
3.3.2. A problemática do rejeito .....	18
4. Materiais e métodos .....	18
4.1. Materiais .....	18
4.1.1. Cimento portland.....	18
4.1.2. Pó de pedra .....	18
4.1.3. Escória de aciaria .....	18
4.2. Métodos .....	19
4.2.1. Considerações iniciais .....	19
4.2.2. Análise granulométrica .....	19
4.2.3. Separação magnética .....	20
4.2.4. Ensaio comparativos .....	20
4.2.5. Densidade real .....	20
4.2.6. Inchamento .....	21
4.2.7. Teor de material pulverulento .....	22
4.2.8. Massa específica aparente .....	22
4.2.9. Moldagem e cura dos corpos de prova.....	23
4.2.10. Ensaio de resistência à compressão .....	23
4.2.11. Ensaio de absorção .....	25
5. Resultados e discussões.....	25
5.1. Análise granulométrica .....	25
5.2. Separação magnética.....	26

5.3.	Teor de material pulverulento .....	26
5.4.	Densidade DNER-ME 084:1995 .....	26
5.5.	Massa específica aparente NBR NM 52:2009 .....	27
5.6.	Inchamento NBR 6467:2006 .....	28
5.7.	Resistência à compressão axial .....	29
5.8.	Absorção por imersão .....	30
6.	Considerações finais.....	31

## 1. Introdução

Os blocos de concreto são elementos construtivos presentes na construção civil brasileira de maneira consolidada e mesmo com os contínuos avanços na ciência dos materiais, ele ainda é um tópico que recebe estudos. A concepção desse material depende de quatro matérias primas que naturalmente interferem no preço do produto, são eles: água, cimento, agregado graúdo(pedra britada) e agregado miúdo(areia ou pó de pedra).

Geralmente blocos de concreto desempenham duas funções principais nas edificações, atuam como elementos estruturais e também como elementos de vedação. O que determina a sua aplicação é principalmente sua resistência à compressão. Quando a composição dos blocos não envolve a presença de agregado graúdo, eles também são designados como blocos de argamassa.

Esta vedação mencionada no parágrafo anterior é responsável pelo isolamento da edificação em relação ao ambiente externo e pela compartimentação dos ambientes internos. Além dos aspectos anteriormente citados, menciona-se também que os blocos tradicionalmente apresentam características como rapidez construtiva e um pequeno número de peças por metro quadrado de assentamento, o que faz deste tipo de material, uma escolha bastante recorrente no mundo da construção civil.

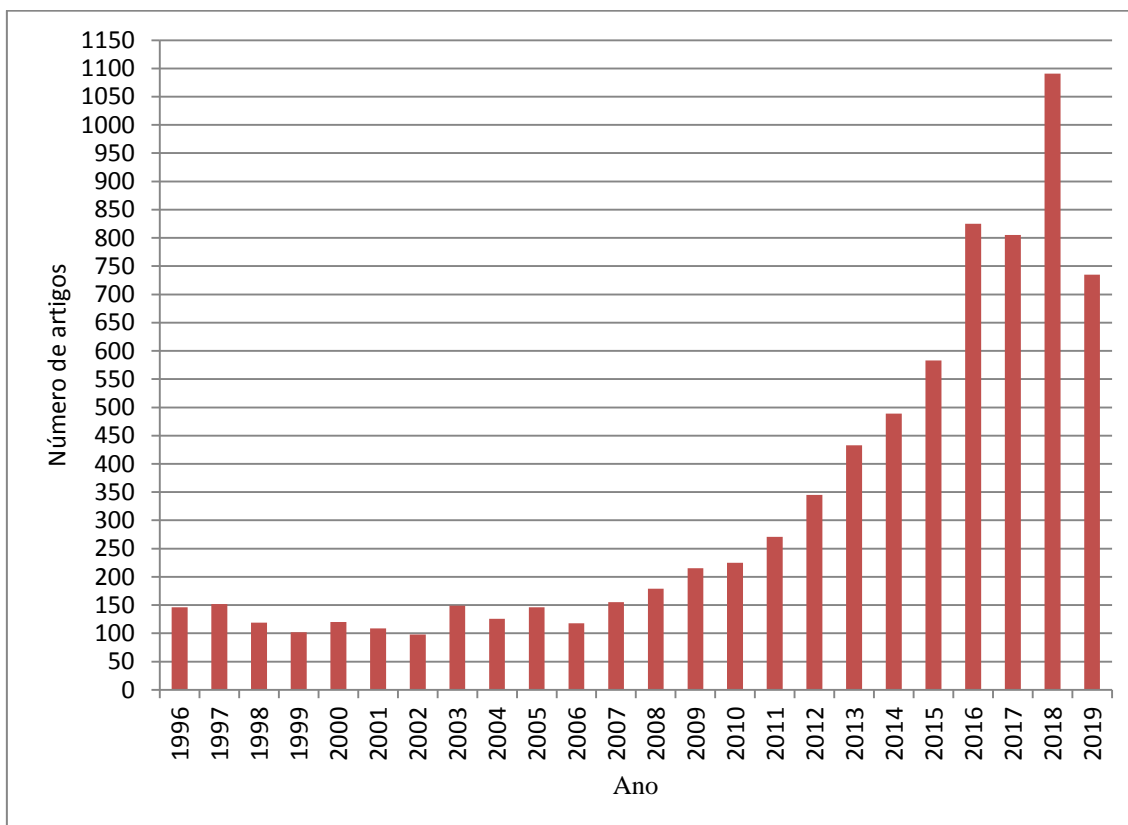
Atualmente, a indústria realiza o uso de produtos pré-moldados de cimento para conformação desse tipo de material. É um caminho usual, industrializado e que concede aos produtos finais, um controle tecnológico mais refinado. Dessa forma, o setor ganha agilidade e competitividade financeira.

Com vistas ao parâmetro financeiro, percebe-se que a variação dos preços das matérias-primas da indústria dos pré-moldados interfere fortemente no valor final do produto e tem profunda relação com a presença de fornecedores na região das empresas fabricantes. Neste sentido, é interessante a busca por materiais, principalmente agregados, que tornem o produto final mais barato.

Com o cenário apresentado, vê-se que um dos materiais que aparecem com destaque, tanto nas pesquisas quanto nos ambiente industriais, principalmente voltados a

siderurgia, são as escórias. Na figura 1, demonstra-se o crescimento nas pesquisas que envolvem o uso de escória de aço em conjunto com o concreto, disponíveis em um grande portal de artigos internacionais.

**Figura 1** - Relação de artigos publicados por ano que relacionam o uso de escória de aço com concreto



Fonte: autoria própria com base nos dados fornecidos pelo portal Science Direct da editora Elsevier.

Em regiões de intensa atividade siderúrgica, como o Quadrilátero Ferrífero, verifica-se comumente a abundância desse subproduto siderúrgico de aciaria em descarte. Visto que a indústria da mineração não encontra utilização para este material abundante, a aquisição do rejeito torna-se acessível, principalmente pela indústria de pré-moldados. Devido ao seu baixo peso em relação a outros produtos como areia, solo e pedregulho e sua capacidade de isolamento acústico, a escória tornou-se nos últimos anos útil em enchimentos de lajes, pisos e paredes.

Dadas às características do material descrito e a região onde se origina esta pesquisa, estuda-se através deste trabalho, a viabilidade da produção de blocos de argamassa para vedação com a utilização de escória, esta obtida como rejeito de aciaria. As escórias possuem diferentes origens de acordo às fases de produção do aço que as ocasionam. Atualmente, as escórias de alto-forno são as mais utilizadas, incorporadas à fabricação

do cimento. Contudo ainda há pouco material disponível sobre as escórias de aciaria, foco desse trabalho.

Assim, o objeto de estudo deste Trabalho de Conclusão de Curso são os blocos de vedação de argamassa pré-moldados com a incorporação de escória de aciaria como agregado miúdo, com o intuito de atender a demanda de uma determinada indústria de produtos pré-moldados na região de Ouro Branco.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar o desempenho da argamassa com adição de escória de aciaria como agregado miúdo destinada à fabricação local de blocos pré-moldados para vedação.

### **2.2. Objetivo específico**

Acredita-se que, por meio deste trabalho também:

- busca-se a realização da caracterização da escória de aciaria como agregado miúdo;
- a verificação consistente da possibilidade da substituição parcial e total da areia pela escória de aciaria;
- a identificação das vantagens e desvantagens dos traços propostos provenientes dos estudos da literatura especializada.

## **3. Revisão Bibliográfica**

### **3.1. O bloco como elemento construtivo**

A forma simples e com modelagem rápida associada ao desempenho mecânico bem sucedido são, com certeza, os responsáveis pela continuação do uso dos blocos de concreto como elementos construtivos. É notória a aplicação deles em grandes obras da Antiguidade, tais como as pirâmides, a Grande Muralha da China e até mesmo nas obras dos Aquedutos Romanos, vistos na figura 2. Obras com centenas de anos que resistem às intempéries e mantêm em praticamente todos os casos a sua função original.

**Figura 2** - Aqueduto Romano



Fonte: Lugares inesquecíveis (2013)

Ainda sobre tais fatos históricos, vale a citação de que a utilização dos blocos como unidades básicas de construção antecedeu a existência da argamassa tal como utilizamos atualmente. Somente em alguns casos havia a utilização de materiais betuminos, mas que nem de perto eram o que hoje chamamos de argamassa.

### **3.2. Blocos pré-moldados de concreto e de argamassa**

Os blocos de concreto são amplamente utilizados na construção civil do Brasil devido à sua resistência, qualidade e custo-benefício. Os blocos são feitos em grandes moldes e com traços planejados de acordo com a utilização prevista pela fabricante. Conforme Santos (2013), é possível inferir que estes artefatos são comumente utilizados para alvenaria de vedação ou fechamento em estruturas pré-moldadas, sejam elas de concreto armado ou metálica, mediante dados do mesmo autor atingem valores superiores a 15 Mpa de resistência a compressão.

É comum a utilização de areia na confecção desses artefatos, contudo os blocos que são referência nesse estudo são moldados com pó de pedra no lugar da areia. Conforme Premoldados Nunes (2018), este material proporciona características finais de desempenho mecânico e de acabamento muito semelhantes a fabricação realizada com

areia e ainda apresenta resultados financeiros melhores. Tendo em vista que são destinados a blocos de alvenaria, o desempenho à compressão em torno de 3 Mpa é bastante satisfatório mediante dados do último autor refereciado.

Tendo em vista que a troca de areia por pó de pedra já produz um desempenho financeiro mais satisfatório, percebe-se que é interessante a busca por materiais que tenham função semelhante a areia. Dada a força da indústria siderúrgica na região do Alto Paraopeba, verifica-se que a escória é uma boa opção. Nesse caso mais especificamente a escória de aciaria. Com um custo por tonelada menor do que o pó de pedra e com características granulométricas similares, o material demonstra um bom potencial de utilização.

Explicita-se, adiante, características presentes nos blocos de concreto que são similares e aproveitáveis ao caso estudado para que a explicação sobre o uso da escória torne-se mais factível. A ABNT NBR 6136:2016 estabelece os requisitos para produção e aceitação de blocos vazados de concreto destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural. Definem-se também os tipos de blocos, podendo estes serem: vazados de concretos simples; tipo canaleta e compensador, destinado para ajuste de modulação. A fabricação e cura dos blocos devem ser realizadas por processos que assegurem a obtenção de um concreto suficientemente homogêneo e compacto.

Tabelas presentes na norma ABNT NBR 6136:2016 apresentam: as dimensões nominais para cada tipo de bloco; designação por classe a depender da largura e espessura mínima da parede dos blocos; requisitos mínimos de resistência à compressão, absorção e retração; tamanho da amostra e limites para aceitação ou rejeição do corpo-de-prova ensaiado.

### **3.3. Escória**

A escória é o subproduto da fundição de minério resultado do processo de purificação necessário para obtenção dos metais. Durante a fundição, quando o minério é exposto a temperaturas elevadas, as impurezas são separadas do metal fundido e podem ser removidas. A massa composta por esses compostos, e que é removida, é a escória. A escória avaliada nesse documento é fruto dos processos desenvolvidos na aciaria.

As escórias de aciaria têm como destinação mais comum a de agregado na construção civil na pavimentação de estradas de rodagem e como lastro de ferrovias, sendo que ela



deve passar por um período de estabilização. Como agregado, ela substitui parcialmente a areia e/ou a brita (conforme a granulometria trabalhada). Entretanto, a utilização da escória está condicionada à sua competitividade comparada com os agregados naturais. O procedimento de transporte faz com que o custo do material seja pouco competitivo frente aos agregados mais tradicionais como areia e o pó de pedra, já que esses dois últimos são mais abundantes em várias localidades.

Atualmente, estuda-se a possibilidade do uso das escórias de um modo geral como agregados e adições minerais, na fabricação do cimento, aterros, tijolos, vidros e granitos sintéticos.

### **3.3.1. O problema da reatividade**

Conforme Geyer (2001) e ainda conforme Cardoso & Dias (2014), a escória de aciaria possui uma composição rica em óxidos e por estes estudos, complementa-se que, há grandes concentrações de óxidos de silício e óxidos de cálcio, componentes que têm grande reatividade com a água.

Essa aspecto é um fator problemático por dois principais motivos. O primeiro é que na presença da água, a escória apresenta instabilidade volumétrica, isso se deve porque a reação dos óxidos com a água ocorre lentamente, o que faz com que na mistura com água, cimento e pó de pedra haja formação de uma argamassa que demora a atingir o seu potencial de resistência (cura lenta). Segundo Han & Zhang (2018), quando não existe o tratamento devido, a escória ainda apresenta partes que não interagiram com a argamassa como um todo mesmo depois de cinco anos. Este fato mostra quão sério é o problema associado a reatividade.

A segunda razão que envolve a natureza reativa das escórias é que a presença de óxidos afeta grandemente a resistência à compressão. O motivo desse acontecimento é justamente a presença das reações dos óxidos com a água presente na mistura da argamassa, o que torna o produto final mais quebradiço. Guo, Xie & Zhao (2019) propõem que quando não há o devido tratamento a relação água-cimento deve ser reduzida para que a reatividade diminua já que ela é induzida pela presença de água. Contudo, esta é uma realidade indesejada visto que a redução de água na mistura reduz a trabalhabilidade da argamassa e conseqüentemente dificulta a conformação dos blocos pré-moldados.

### **3.3.2. A problemática do rejeito**

Durante o processo de beneficiamento do aço vários são as fases que produzem resíduos e estes não são reaproveitados em sua totalidade e causam prejuízo industrial. Cita-se escória de alto forno, pó de alto forno, lama de alto forno, escória de dessulfuração, escória de aciaria, lama grossa de aciaria, lama fina de aciaria e carepa.

Segundo Cardoso & Dias (2014) é possível a constatação de alguns fatos que mostram a atual preocupação com o reaproveitamento do resíduo da siderurgia. Ainda conforme os mesmos autores, em 2009, a comercialização desses subprodutos movimentou cerca de 440 milhões de reais, sendo destinados os dois grandes destinos do reaproveitamento, a produção de cimento (62%) e o uso em bases para estradas (23%).

No entanto, as aplicações até hoje encontradas não conseguem absorver toda a oferta. Além disso, no caso da pavimentação, a escória causa problemas relacionados às suas capacidades mecânicas, como fissuras e trincas, que levam o material à novas pesquisas que são impulsionadas principalmente pelo interesse econômico vinculado ao material.

## **4. Materiais e métodos**

A parte experimental deste trabalho foi desenvolvida no laboratório de Construção Civil da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba (CAP/UFSJ).

### **4.1. Materiais**

#### **4.1.1. Cimento portland**

O cimento utilizado para a preparação das argamassas dos blocos foi o CPV-ARI, normatizado pela NBR 5733/1991, tal escolha foi feita por ser o mesmo cimento utilizado em indústrias de pré-moldados da região.

#### **4.1.2. Pó de pedra**

Um dos agregados miúdos utilizados na produção da argamassa foi o pó de pedra, que é um material proveniente de rocha gnáissica com diâmetro máximo de 4,8mm. Sendo este o material mais consumido na indústria de pré-fabricados, compondo 90% da argamassa utilizada na fabricação de blocos.

#### **4.1.3. Escória de aciaria**

A escória de aciaria utilizada neste trabalho possui granulometria de agregado miúdo e substituiu o pó de pedra gradativamente para os estudos de sua influência.

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. Considerações iniciais

Para uma avaliação mais completa da influência da substituição, alguns dados foram previamente coletados, tais como:

- caracterização granulométrica dos materiais finos utilizados, pó de pedra e escória de aciaria;
- caracterização comparativa entre escória de aciaria e pó de pedra;
- análise da influência da substituição do pó de pedra pela escória de aciaria na resistência à compressão e absorção.

Os ensaios realizados para a o procedimento da pesquisa foram os apresentados na tabela 1.

**Tabela 1** – Ensaios realizados no estudo

Ensaio	Norma regulamentar
Determinação da granulometria	NBR NM 248/2003
Massa específica aparente	NBR NM 52/2009
Teor de material pulverulento	NBR NM 46/2003
Densidade real	DNER-ME 084/1995
Inchamento	NBR 6467/2006
Absorção de água	NBR 9778/2009
Resistência à compressão	NBR 5739/2018
Moldagem dos corpos de prova	NBR 5738/2016 e NBR 7215/1997.
Processo de cura dos corpos de prova	NBR 7215/1997

Fonte: autoria própria

### 4.2.2. Análise granulométrica

A caracterização dos agregados, miúdos no caso, foi realizada conforme as prescrições da ABNT NBR NM 248/2003, a qual prescreve a preparação e o ensaiado a ser realizado. Além disso, a norma estabelece curvas de distribuição granulométricas, com seus limites máximos e mínimos, dimensão máxima característica e o módulo de finura

dos agregados de acordo com as porcentagens de material retido e acumulados no conjunto de peneiras.

A figura 3 abaixo apresenta o conjunto de peneiras utilizadas para a determinação da distribuição granulométrica dos agregados miúdos em estudo, o pó de pedra e a escória de aciaria.

**Figura 3** - Conjunto de peneiras para ensaio de granulometria



Fonte:Clube do Concreto (2013)

#### **4.2.3. Separação magnética**

Devido à origem industrial da escória de aciaria, há em sua composição, um teor considerável de partículas metálicas as quais contribuem para uma instabilidade volumétrica das escórias, através da geração de produtos de corrosão e oxidação (PEIXOTO et al., 2007). A partir disso realizou-se a separação magnética da escória de aciaria por meio de ímãs, em todo o material utilizado, a fim de diminuir significativamente essa instabilidade indesejada.

#### **4.2.4. Ensaios comparativos**

Nesse estudo comparou-se os materiais utilizados, a escória de aciaria e o pó de pedra, em diversos parâmetros para uma avaliação geral do agregado e sua influência no resultado. A seguir são apresentados os ensaios comparativos dos dois materiais.

#### **4.2.5. Densidade real**

A densidade real é descrita na norma DNER-ME 085/95 como a relação entre a massa de uma amostra e a massa de um volume igual de água destilada.

O ensaio consiste na determinação de quatro massas, do material e da água destilada. Inicialmente um picnômetro é pesado vazio e seco, coloca-se então a amostra do agregado no picnômetro para aferir a segunda massa, a terceira é obtida após inserir água no recipiente e aquecê-lo a fim de retirar os gases dos vazios, por fim é pesado apenas o picnômetro com água destilada. A densidade real do agregado miúdo é dada pela equação 1.

$$D = \frac{b-a}{(d-a)-(c-b)} \quad (1)$$

Onde:

a = massa do picnômetro vazio e seco (g);

b = massa do picnômetro mais amostra (g);

c = massa do picnômetro mais amostra mais água (g);

d = massa do picnômetro cheio de água (g).

#### 4.2.6. Inchamento

O ensaio para a obtenção do inchamento de agregado miúdo é normatizado pela NBR 6467/2006, a qual define que o inchamento é a variação do volume aparente, provocado pela absorção de água pelos grãos. O processo do ensaio consiste em adicionar água sucessivamente de modo a obter teores de umidade próximos a 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%. A cada adição de água a amostra deve ser homogeneizada e então coleta-se uma amostra em uma cápsula para se determinar o teor de umidade. Por fim deve-se calcular o coeficiente de inchamento ( $V_h/V_o$ ) que é dado pela equação 2.

$$\frac{V_h}{V_o} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} x \frac{(100+h)}{100} \quad (2)$$

Onde:

$\gamma_s$  = massa unitária do agregado seco em estufa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\gamma_h$  = massa unitária do agregado com certa % de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$x$  = teor de umidade do agregado (%).

A massa unitária é determinada conforme a norma NBR 7251/1982 como a relação entre a massa do agregado e o volume do recipiente que esse ocupa.

Devem-se assinalar os pares de  $h$  e  $V_h/V_o$  em um gráfico e traçar a curva de inchamento. A umidade crítica é obtida pelo gráfico seguindo os seguintes passos: traçar uma reta paralela ao eixo das umidades; traçar uma corda partindo da origem do eixo de coordenadas até a reta traçada; traçar uma tangente à curva estando paralela à corda e a abscissa do encontro das duas tangentes é a umidade crítica.

#### 4.2.7. Teor de material pulverulento

Materiais finos que passam através da peneira #200 (0,075 mm) são considerados materiais pulverulentos, que é um material gerado durante o processo de trituração de rochas maiores. Na construção civil, esses materiais podem ser prejudiciais à argamassa causando instabilidades na mistura ao envolverem as partículas de cimento, causando prejuízo às propriedades da argamassa, devido maior exigência de adição de água para hidratação do cimento, o que gera aumento na quantidade de vazios e diminui a resistência mecânica.

A norma NBR NM 46/2003 define o método de ensaio para a determinação por lavagem, em agregados, da quantidade de material mais fino que a abertura de malha da peneira de 75  $\mu\text{m}$ . O teor de material pulverulento é obtido pela equação 3.

$$TP = \left( \frac{M_s \cdot M_l}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

$M_s$  é a massa inicial da amostra seca em estufa (g);

$M_l$  é a massa da amostra seca em estufa após a lavagem (g).

#### 4.2.8. Massa específica aparente

Outro parâmetro comparativo analisado nesse estudo é a massa específica aparente, que é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo poros permeáveis, definido assim pela NBR NM 52.

Nessa norma determina-se redução da amostra obtida por quarteamento. Inicialmente a amostra deve permanecer imersa por 24 horas, após sua saturação a amostra foi estendida em uma superfície estando submetida a ação do vento de modo que sua superfície esteja seca uniformemente.

Dessa amostra saturada de superfície seca pesou-se 500 g e colocou-se em um frasco de capacidade de 500 cm<sup>3</sup> com água até a marca do volume total. Com o objetivo de se eliminar as bolhas de ar, o conjunto deve ser deixado em repouso por 1h. Após esta etapa, o volume deve ser completo por água, se necessário, e pesado.

A massa específica aparente do agregado se dá pela equação 4.

$$d = \frac{m}{V - V_a} \quad (4)$$

Onde:

m é a massa da amostra seca em estufa (g);

V é o volume do frasco (cm<sup>3</sup>);

V<sub>a</sub> é o volume de água adicionado ao frasco (cm<sup>3</sup>).

#### **4.2.9. Moldagem e cura dos corpos de prova**

Por meio das instruções obtidas na norma NBR 5738/2015, moldou-se os corpos de prova de argamassa para os ensaios de compressão axial e absorção por imersão. O primeiro passo foi revestir internamente os moldes e suas bases com uma fina camada de óleo para facilitar o desmolde, em seguida a argamassa foi introduzida no molde de 50x100 mm em 3 camadas, com 25 golpes por camada para o adensamento manual. Após essa etapa a superfície foi rasada com o emprego de uma régua metálica para garantir a uniformidade do topo.

A cura inicial se dá com os moldes em superfície horizontal, livre de vibrações e qualquer ação que possa perturbar a argamassa durante 24 h. Após a fase inicial, os corpos de prova foram retirados dos moldes, identificados e armazenados em solução saturada de hidróxido de cálcio até completar 28 dias de cura.

#### **4.2.10. Ensaio de resistência à compressão**

Antes de dar início ao ensaio, realizou-se o capeamento dos corpos de prova com enxofre conforme indicação da norma NBR 5739/2018. O capeamento consiste no revestimento do topo e base dos corpos de prova para garantir a superfície plana necessária para o ensaio.

A resistência à compressão axial simples para cada um dos teores de substituição, 0%, 25%, 50% e 100%, foi determinada como a média da resistência de 6 corpos de prova. Os corpos de prova foram posicionados na prensa de modo que o seu centro de gravidade coincida com o eixo de carga dos pratos da prensa, de modo a não ocorrer torção. A norma NBR 5739/1994 determina-se o valor da resistência à compressão por meio da equação 5.

$$R_c = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Onde:

$R_c$  é a resistência à compressão em Mpa;

$P$  é a carga de ruptura obtida na prensa em kN;

$A$  é a área bruta do corpo de prova em  $\text{cm}^2$ .

A figura 4 ilustra os processos necessários para a preparação do corpo de prova para a determinação da resistência à compressão.

**Figura 4** - Procedimento de preparação do corpo de prova (capeamento)



Fonte: Prigol (2010)



#### 4.2.11. Ensaio de absorção

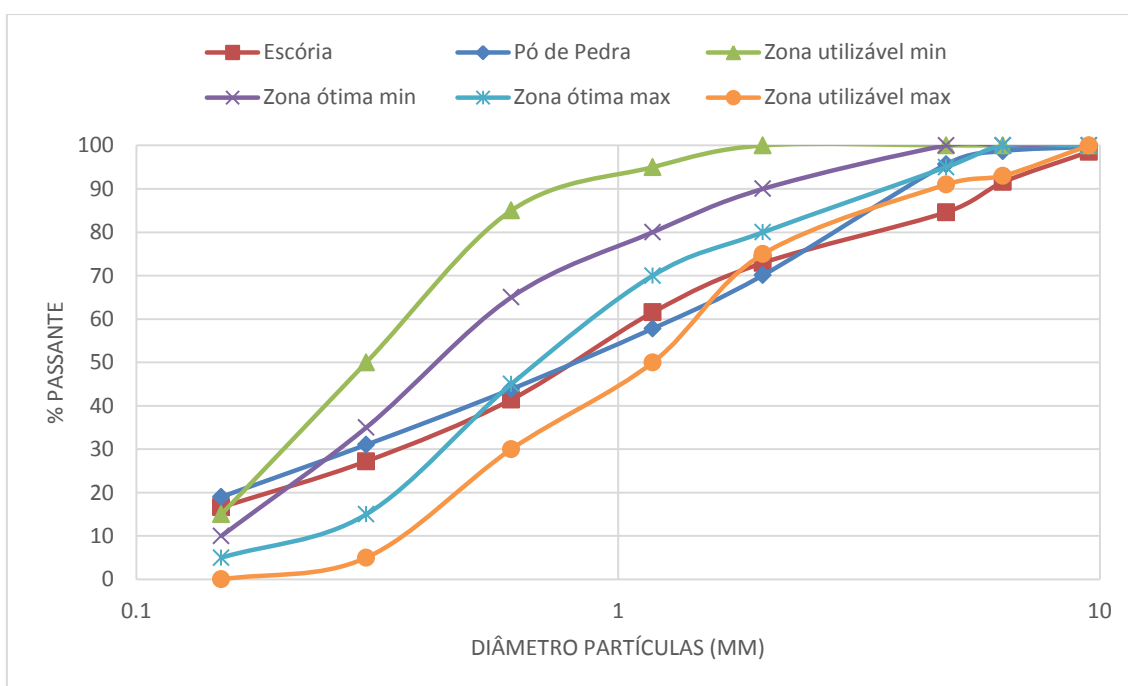
A determinação da absorção de água dos corpos de prova deu-se conforme determinação da NBR 9778/2009, na qual a absorção é obtida por imersão da amostra em água. A absorção de água é obtida pela relação entre a massa de água contida no corpo de prova saturado e a massa seca do corpo de prova. A massa seca é obtida ao colocar o corpo de prova em estufa à temperatura de  $105 \pm 5$  °C até sua constância de massa. A massa de água é obtida pela diferença de massa entre o corpo de prova imerso em água, para sua saturação, por 72h e o seco.

## 5. Resultados e discussões

### 5.1. Análise granulométrica

A Figura 5 mostra as curvas granulométricas da escória de aciaria e do pó de pedra, além dos limites utilizáveis e ótimos definidos pela NBR 7211/2005.

**Figura 5** - Curvas granulométricas da escória, do pó de pedra e limites utilizáveis e ótimos



Fonte: autoria própria

A partir da Figura 5, nota-se que tanto o pó de pedra quanto a escória apresentaram um trecho da curva granulométrica fora da zona utilizável, porém como apresentado por dos Santos (2014) é possível corrigir os desvios do trecho a partir de processamento, misturas ou adições desses materiais.

## 5.2. Separação magnética

Através da separação magnética na escória de aciaria realizada no estudo observou-se que 21,58% da amostra do material é constituída por frações metálicas capazes de afetar negativamente a estabilidade da argamassa. Segundo Santos (2013), as reações de endurecimento do cimento Portland são capazes de neutralizar as ações expansivas dos óxidos de cálcio e magnésio (CaO e MgO), materiais presentes na escória de aciaria, porém o mesmo não ocorre para os óxidos de ferro (FeO), os quais possuem elevada presença na escória de aciaria bruta.

## 5.3. Teor de material pulverulento

A tabela 2 apresenta os resultados do ensaio comparativo entre a escória de aciaria e o pó de pedra utilizados no estudo para o de teor de material pulverulento.

**Tabela 2** - Resultados do teor de material pulverulento

Teor de Material Pulverulento	
Agregado	Teor (%)
Pó de pedra	11,78
Escória de aciaria	16,98

Fonte: autoria própria

Nota-se que tanto o pó de pedra quanto a escória apresentaram um percentual elevado de material pulverulento, tendo em vista que a norma NBR 7211/2009 estipula os limites de 3% para concreto submetido a desgaste superficial e 5% para concretos protegidos do desgaste superficial. Logo, ambos os agregados analisados possuem um teor acima dos limites, o que é prejudicial pois se faz necessário uma maior quantidade de água, reduzindo assim a resistência, para obter a trabalhabilidade adequada. Por isso, deve ser realizada uma lavagem dos agregados antes de seu uso.

## 5.4. Densidade DNER-ME 084:1995

Por meio do ensaio de densidade, constatou-se os seguintes parâmetros de mensuração na tabela 3:

**Tabela 3** - Resultados da Densidade da Escória e do Pó de Pedra

Escória		Pó de Pedra	
a	183,31	a	151,09
b	683,01	b	651,00
c	999,37	c	942,22
d	661,46	d	638,02
$D_{25} = 3,088571605$		$D_{25} = 2,554340606$	

**Legenda**

- a = massa do picnômetro vazio e seco (g);  
 b = massa do picnômetro mais amostra (g);  
 c = massa do picnômetro mais amostra mais água (g);  
 d = massa do picnômetro cheio de água (g).

---

Fonte: autoria própria

Conforme Rhode (2002) o valor de densidade da escória encontra-se bem ajustado e assim também, perante o trabalho de Nascimento, Júnior e Gumieri (2011) vemos que o valor para o pó de pedra é válido. Verifica-se então que a escória é mais densa que o pó de pedra cerca de 21%. Com essas características é possível traçar horizontes sobre os materiais em questão, mostrando que a porosidade, os índices de vazios, a compactação e, até mesmo, o consumo serão maiores para a escória.

**5.5. Massa específica aparente NBR NM 52:2009**

Com base nesse ensaio foram obtidos outros parâmetros que complementam os valores encontrados em 5.4, os resultados para a massa específica aparente são listados na tabela 4:

**Tabela 4** - Resultados da massa específica da escória e do pó de pedra.

Escória		Pó de Pedra	
<i>d1</i>	2,8781	<i>d1</i>	2,4395
<i>d2</i>	2,9639	<i>d2</i>	2,4630
<i>d3</i>	3,1481	<i>d3</i>	2,4981

**Legenda**

- d1* = massa específica aparente;  
*d2* = massa específica do agregado (superfície seca);  
*d3* = massa específica.

---

Fonte: autoria própria

### 5.6. Inchamento NBR 6467:2006

Com a tabela 5 e os gráficos 6 e 7, é possível aferir a umidade crítica e o coeficiente de inchamento médio da escória e do pó de pedra e, a partir desses parâmetros avaliar como tais materiais se comportam na presença de água. Por meio do ensaio verifica-se que a água absorvida, aderente aos grãos, provoca afastamento entre eles, o que resulta no inchamento. Observa-se que a escória possui um desprendimento de suas partículas maior do que o pó de pedra e portanto necessita de menos material para o preenchimento de um espaço qualquer, quando comparada ao pó de pedra, e isto se complementa e comprova os dados obtidos em 5.4 e 5.5.

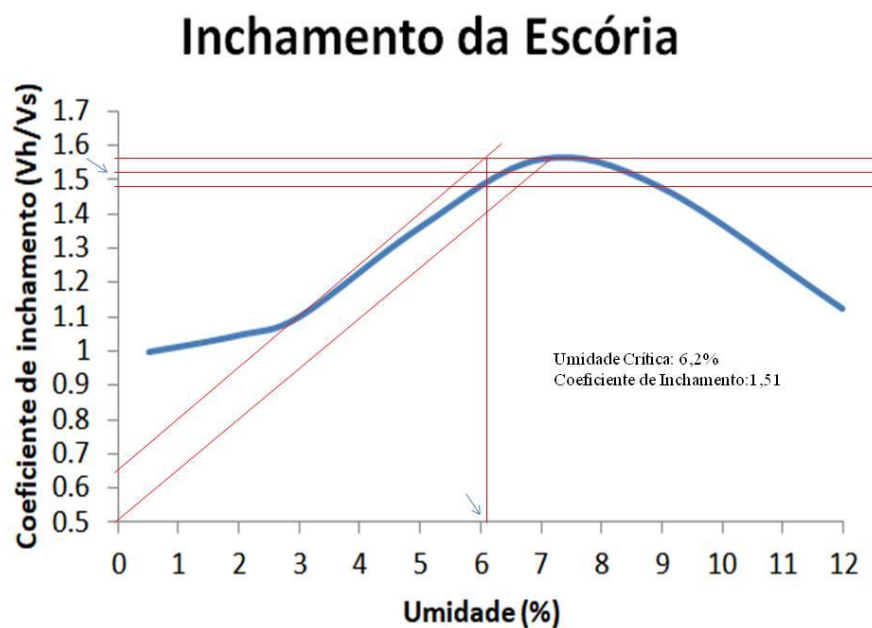
Esta ideia de preenchimento é naturalmente presente no momento da conformação dos blocos. Assim, verifica-se que o uso da escória em uma substituição de 100% em relação ao pó de pedra produz blocos com uma massa maior. Além disso, outro fator diretamente ligado ao inchamento é o número de vazios, quanto maior o inchamento naturalmente maior o número de vazios. E conforme foi visto em laboratório verificou-se que os corpos de prova com maiores teores de escória tornaram-se, além de naturalmente mais pesados, mais quebradiços, justamente pelo maior número de vazios, que com a compactação padrão de norma (25 golpes) não diminuem suficientemente para que produzam blocos com um valor satisfatório de resistência à compressão. Assim verifica-se que os traços com teores menores de escória se comportam de uma maneira melhor e conduzem à blocos com uma resistência otimizada.

**Tabela 5** - Resultados do inchamento da escória e do pó de pedra

Escória		Pó de Pedra	
Umidade (%)	(Vh/Vs)	Umidade (%)	(Vh/Vs)
Massa unitária seca: 1,7088 g/cm <sup>3</sup>		Massa unitária seca: 1,6119 g/cm <sup>3</sup>	
0,5	0.995199	0,5	0.991514
1	0.923685	1	1.176329
2	1.044439	2	1.51176
3	1.098543	4	1.216763
5	1.359066	5	1.151889
7	1.557292	7	1.194032
9	1.473991	9	1.259042
12	1.121569	12	1.159435

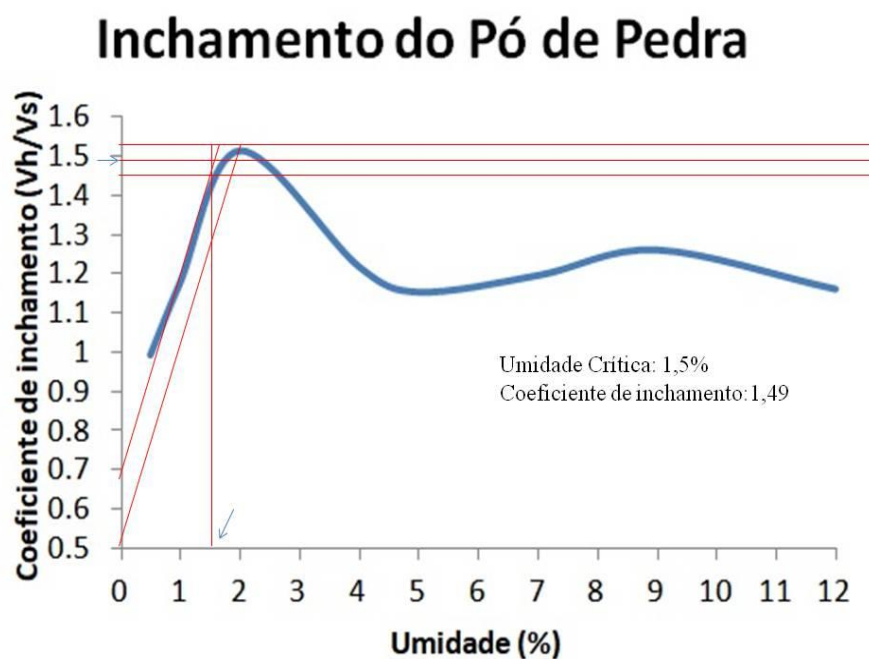
Fonte: autoria própria

Figura 6 - Gráfico de inchamento da escória



Fonte: autoria própria

Figura 7 - Gráfico de inchamento do pó de pedra



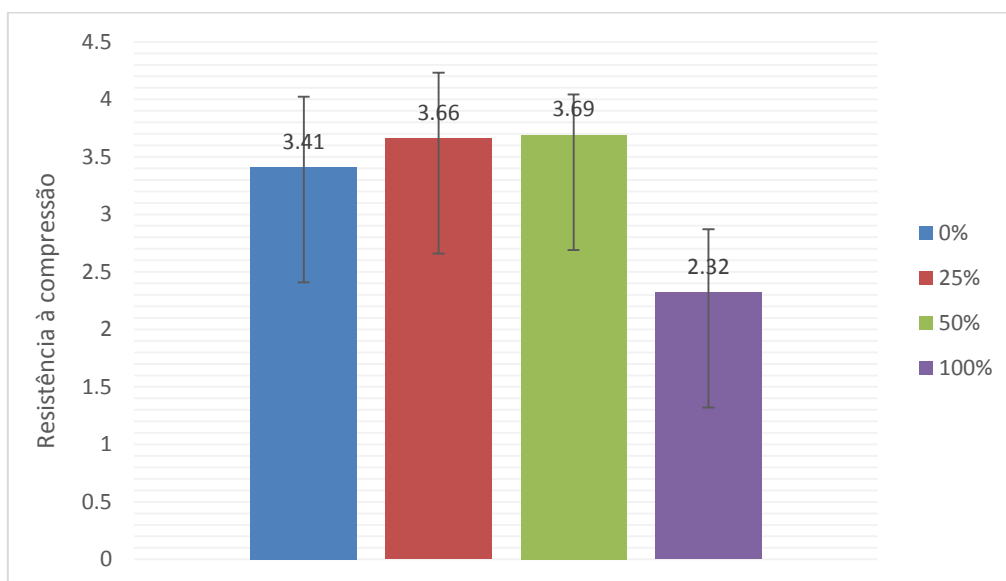
Fonte: autoria própria

### 5.7. Resistência à compressão axial

A figura 8 apresenta os valores de resistência à compressão axial dos corpos de prova do traço com as substituições de escória propostas, ou seja, de 0%, 25%, 50% e 100%,

sendo que a resistência da argamassa de 0% de substituição representa o valor de referência.

**Figura 8** - Resultados da resistência à compressão das argamassas analisadas



Fonte: autoria própria

Por meio da figura 8 é possível observar que a resistência à compressão dos CP's de 25% e 50% foram superiores aos 3,41MPa, obtida no CP de referência, portanto é viável sua utilização baseada nesse parâmetro. Já os CP's de 100% de substituição apresentaram uma resistência abaixo, porém dentro do desvio padrão das demais, sendo assim não recomendada sua aplicação. A presença do maior teor de grãos maiores do que os do pó de pedra causam um intertravamento das partículas do material que favorece a resistência do material, então ao realizar-se a substituição em sua totalidade, houve uma influência negativa na resistência, quando comparada com a argamassa de pó de pedra. Por outro lado, a escória de aciaria possui maior teor de finos, o que influenciou no preenchimento dos vazios, aumentando o contato do agregado com a pasta aumentando a resistência das argamassas com substituição de 25 e 50%.

### **5.8. Absorção por imersão**

Os resultados da absorção dos CP's com as substituições propostas são demonstrados na tabela 6.

**Tabela 6** - Resultados da absorção por imersão

<b>Absorção</b>	
<b>Substituição (%)</b>	<b>Absorção (%)</b>
<b>0</b>	10,73
<b>25</b>	10,99
<b>50</b>	11,44
<b>100</b>	13,97

Fonte: autoria própria

Segundo a NBR 9778/2009 a qualidade dos CP's ensaiados se dá por: durável (absorção < 4,2%), convencional (absorção entre 4,2% e 6,2) e deficiente (absorção > 6,2%). A partir dessa classificação nota-se que todos os teores de substituição, incluindo o de referência, são deficientes. De forma direta, de acordo com a menor granulometria da escória, a absorção dos CP's com substituição seria menor que o de referência, porém, como explica Machado (2000), a escória de aciaria possui uma característica expansiva devido a hidratação do óxido de cálcio (CaO) e do periclásio (MgO), o que faz com que essa reação seja responsável por um considerável aumento de volume em relação às dimensões originais dos cristais.

## **6. Considerações finais**

Por meio das análises em ensaios sob diferentes pontos de vista, conclui-se que é possível realizar a substituição do pó de pedra, a ser usado em argamassa tanto para blocos de vedação como estruturais, pela escória de aciaria. As vantagens são observadas no âmbito da resistência e características do material e, devido a sua grande oferta na região, a incorporação da escória se torna um material competitivo.

É necessário, no entanto, realizar as seguintes ressalvas para essa substituição. A separação magnética é essencial para que a reatividade da escória diminua. Outro ponto é relacionado ao teor de material pulverulento, que deve ser reduzido a fim de evitar problemas estruturais e com o inchamento do agregado com o objetivo de conter suas reações expansivas.

Mediante os resultados descritos nesse estudo, e em concordância com Cardoso (2014) no qual foi realizada uma análise semelhante, tem-se que as substituições próximas a 25% e 50% de escória são as mais eficientes. Com isso, para futuros estudos

recomenda-se uma avaliação mais aprofundada com valores de substituições próximas dessa faixa de modo a obter-se a substituição ótima.

É de suma importância ressaltar que esse trabalho é um estudo de caso com uma escória de aciaria encontrada na região próxima ao local da pesquisa, sendo necessário para outros trabalhos a avaliação das escórias de aciaria obtidas na localidade em questão. Com a finalidade de obter melhor refinamento dos resultados encontrados e avaliação de outros parâmetros, é recomendado a realização de ensaios para a avaliação química da escória de aciaria, como difração por raios-x ou espectrometria de fluorescência de raios-x. Alguns constituintes podem ser reativos afetando positivamente ou negativamente o comportamento dos materiais cimentícios produzidos com a escória. Para complementar a análise química, sugere-se também a realização do ensaio de durabilidade em solução de sulfato de sódio conforme Santos (2013) e norma internacional ASTM C-1012/1997.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6467: Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazio e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão . Rio de Janeiro, 1997.

Bauer, L. A. (2000). *Materiais de Construção*. Belo Horizonte: LTC.

Cardoso, A., & Dias, F. M. (09 de Novembro de 2014). A utilização de escória de aciaria para manufatura de blocos de pavimentação. *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais* .

Clube do Concreto, Composição Granulométrica dos Agregados - Segóvia, 2013. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/07/passopasso-composicao-granulometrica.html>> Acesso em: 01 jul. 2019

Dias, F., & Cardoso, A. (13 de Novembro de 2014). A utilização de escória de aciaria para a manufatura de blocos de pavimentação. *21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, p. 7.

dos Santos, D. H., Marinho, A. L., de Barros, T. R., Silva, G. J., & Peixoto, R. A. (Outubro de 2014). Blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para uso em alvenaria modular. *56º Congresso Brasileiro do Concreto*, p. 16.

Geyer, R. M. (2001). Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Geyer, R. M. (2001). *Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto*. Porto Alegre, Brasil.

Grupo Concrenorte. (2018). Acesso em 27 de 08 de 2018, disponível em Concrenorte: <https://concrenorte.com.br/saiba-tudo-sobre-os-blocos-de-concreto/>

Guo, Y., Xie, J., Zhao, J., & Zuo, K. (02 de Fevereiro de 2019). Utilization of unprocessed steel slag as fine aggregate in normal and high strength concrete. *Construction and Building Materials*, p. 9.

Guo, Y., Xie, J., Zheng, W., & Li, J. (23 de Outubro de 2018). Effects of steel slag as fine aggregate on static and impact behaviours of concrete. *Construction and Building Materials*, p. 8.

Han, F., & Zhang, Z. (21 de Abril de 2018). Properties of 5 years old concrete containing steel slag powder. *Powder Technology*, p. 9.

Jiang, Y., Ling, T. C., Shi, C., & Pan, S.-Y. (3 de Maio de 2018). Characteristics of steel slag and their use in cement and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, p. 11.

Lugares Inesquecíveis, Aqueduto Romano - Segóvia, 2013. Disponível em: <<https://lugaresinesqueciveis.wordpress.com/2013/07/24/aqueduto-romano-segovia/>>. Acesso em: 01 jul. 2019.

Marinho, A. L., Barros, T. R., Silva, G. J., Peixoto, R. A., & Santos, D. H. (Outubro de 2014). Blocos de Concreto produzidos com escória de aciaria para uso em alvenaria modular. *Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto*, p. 16.

Machado, A.T. *Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria*. São Paulo, SP. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2000.

Nascimento, Gizela Barbosa do. Júnior, Antônio Neves de Carvalho. Gumieri, Adriana Guerra. Junho de 2011. Caracterização de argamassas de pó de pedra para restauração de fachadas no estilo art déco. Artigo original publicado nos anais do VIII SBTA (Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas) - Curitiba (PR) - 2009.p.17-24.

Peixoto, Ricardo André Fiorotti, Padula, F. R. G, França, M. B. B, Kamada, C. E. *Estudo da viabilidade técnica e econômica para a utilização de escória de aciaria na fabricação de argamassa para alvenarias*. Congresso Construção. Universidade de Coimbra. Coimbra 2007.

Premoldados Nunes. (2018). *Teste com escória de minério*. Ouro Branco: Premoldados Nunes.

PREMONTA. (2014). Acesso em 27 de 08 de 2018, disponível em PREMONTA: <http://premonta.com.br/blocos-de-concreto-para-fechamento/>

Prigo, Aldo Cesar, Caracterização de agregado miúdo de jazida da região de são luiz do purunã em substituição ao agregado miúdo natural utilizado em uma empresa de concreto dosado em central. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

Rhode, Luciana, Escórea de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos - Estudo laboratorial. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

Santos, D. H. (2013). *Análise de blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para uso em alvenaria modular*. Ouro Preto.