

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA - UNIFOR**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**ABEL GONÇALVES PEREIRA NETO**

**UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE FUNDIÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO DO  
CONCRETO**

**FORMIGA - MG**  
**2014**

ABEL GONÇALVES PEREIRA NETO

UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE FUNDIÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO NO  
CONRCETO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Formiga - UNIFOR, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Mariana Del Hoyo Sornas.

FORMIGA - MG

2014

P436      Pereira Neto, Abel Gonçalves.  
            Utilização de escória de fundição como agregado graúdo no  
            concreto / Abel Gonçalves Pereira Neto. – 2014.  
            54 f.

            Orientadora: Mariana del Hoyo Sornas.  
            Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia  
            Civil)-Centro Universitário de Formiga–UNIFOR-MG, Formiga,  
            2014.

            1. Concreto. 2. Escória. 3. Ferro fundido. I. Título.

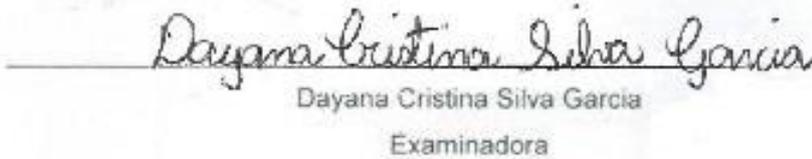
CDD 624.1834

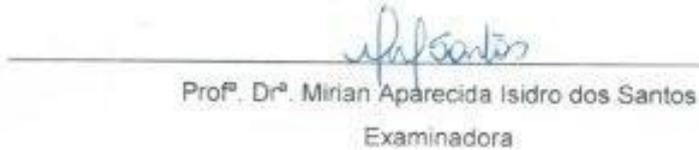
ABEL GONÇALVES PEREIRA NETO

UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE FUNDIÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO NO  
CONCRETO

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Centro Universitário de Formiga -  
UNIFOR, como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil. Orientadora: Profª. Mariana Del Hoyo  
Sornas

  
Profª. Esp. Mariana Del Hoyo Sornas  
Orientadora

  
Dayana Cristina Silva Garcia  
Examinadora

  
Profª. Drª. Mirian Aparecida Isidro dos Santos  
Examinadora

Formiga, 5 de novembro de 2014

Aos nobres companheiros, os que abandonaram a batalha, aos que venceram a batalha e principalmente aos que ainda estão batalhando.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a todos que acreditaram em mim e participaram, ativa ou passivamente desta minha formação.

Agradeço em especial à minha mãe por nunca me deixar desanimar e ao meu pai, que participou da minha formação não só com o apoio financeiro, mas nunca medindo esforços para que esse sonho viesse a ser realizado.

Aos meus amigos no ônibus, que estiveram 5 anos sofrendo e lutando não só pelo próprio curso, mas também um pelo outro, amigos que foram em momentos os principais motivos para continuar seguindo em frente.

Àqueles que nunca frequentaram uma universidade, mas me ensinaram valores que sem estes hoje em dia eu jamais seria que sou.

À minha família, Alexandre, Adriana, aos recém chegados Ary, Giselle e aos ainda mais recentes, Arthur e Alexia, duas bênçãos que apareceram em nossas vidas.

Por último, mas não menos importantes, aos amigos do “L”, companheiros dos melhores e piores momentos da faculdade, amigos que se tornaram uma verdadeira família.

## RESUMO

Este tema tem como fundamentação o estudo sobre a possibilidade do emprego da escória gerada na produção do ferro fundido em estruturas em concreto, visando diminuir o custo da obra, diminuir o peso do concreto, evitar o descarte deste material em áreas impróprias entre outras possibilidades proporcionadas por esse material. Este material é abundante em cidades com muitas empresas do ramo de fundição, como é o caso de Cláudio/MG, onde essa escória tem como única utilidade, a aplicação em estradas de terra, em locais onde existe o risco dos carros não conseguirem transpor em casos de acúmulo de lama. Esse trabalho visa descobrir uma nova utilidade para a escória evitando o impacto ambiental gerado pelo descarte além de inventar um novo mercado para a escória, pode-se baratear o custo de qualquer obra, dadas as devidas proporções do preço de mercado da brita.

**Palavras – Chave:** Concreto, Escória, ferro fundido.

## **ABSTRACT**

This topic has as foundation the study on the possibility of using the slag generated in the production of cast iron in concrete structures in order to reduce the weight of the concrete, avoid improper disposal of this material in areas between the possibilities offered by this material. This material is abundant in cities with many companies in this line of casting, as is the case of Cláudio/MG where this scum whose only utility application on dirt roads, in places where there is a risk of failing to transpose in cars cases of accumulation of mud. With this work it is possible to discover a new use for the slag avoiding the environmental impact generated by the disposal and invent a new market for the scum, and can lower the cost of any work, given the proper proportions of the market price of crushed stone.

**Keywords:** Concrete, Slag, Cast Iron.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Exemplo de Degradação Causada por Mineração .....	19
FIGURA 2: Estrutura Detalhada de um Forno Cubilô.....	25
FIGURA 3: Ciclo de Vida dos Resíduos a Ser Considerado Quando da sua Utilização na Indústria da Construção.....	28
FIGURA 4: Exemplo de Aglomerado.....	30
FIGURA 5: Bloco Unystein.....	35
FIGURA 6: Cronograma de execução do projeto em fluxograma .....	39
FIGURA 7: Partes da escória com diferentes índices de vazios .....	47
FIGURA 8: Corpo-de-prova após rompimento .....	48
FIGURA 9: Amostra de escória com material ferroso encrustado.....	49

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Quantidade em Volume Médio Utilizado em Estruturas .....	32
GRÁFICO 2: Percentual de Investimento Médio em Materiais.....	32

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

FCK – Resistência Característica do Concreto à Compressão

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Ranking de Produção de Cimento em Milhões de Toneladas no Ano de 2006 .....	21
TABELA 2: Composição Química Típica de uma Escória de Cubilô .....	27
TABELA 3: Consumo de Agregado por Aplicação .....	33
TABELA 4: Resultados Médios e Individuais de Desgaste por Abrasão nos Corpos-de-Prova Extraídos dos Blocos com Substituição Parcial de Cimento por EGF e Referência .....	36
TABELA 5: Análise de Variância (ANOVA) .....	37
TABELA 6: Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova .....	42
TABELA 7: Massa média entre corpos-de-prova .....	45
TABELA 5: Massa específica média .....	45
TABELA 5: Resultados do ensaio, média aritmética e variância da resistência à compressão .....	46

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 MOTIVAÇÕES .....	17
3 POSSIBILIDADES DE RESULTADOS DO ESTUDO .....	18
4 OBJETIVO GERAL .....	19
4.1 Objetivos específicos .....	19
5 JUSTIFICATIVA .....	21
6 CONSIDERAÇÕES .....	23
6.1 PROCESSOS ATUAIS DE FABRICAÇÃO DO FERRO FUNDIDO E SURGIMENTO DA ESCÓRIA .....	23
6.1.1 Um breve sobre a fundição .....	23
6.1.2 O que é o ferro fundido.....	25
6.1.3 A escória do ferro fundido .....	26
6.2 UM BREVE SOBRE A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	27
6.3 CONSIDERAÇÕES PARA ADIÇÃO DA ESCÓRIA NO CONCRETO.....	29
6.3.1 O Concreto no Brasil .....	29
6.3.2 Visão dos Agregados na Construção Civil .....	31
6.3.3 Escopos do estudo .....	34
7 MÉTODO ADOTADO .....	38
7.1 Cronograma de execução do projeto .....	38
7.2 Confecção dos corpos-de-prova .....	39
7.2.1 Moldes.....	40
7.2.2 Mistura.....	40
7.2.3 Moldagem.....	41
7.2.4 Cura.....	42
7.3 Ensaio.....	43
7.3.1 Aferição da massa específica média .....	43
7.3.2 Ensaio de compressão .....	44
8 RESULTADOS .....	45
8.1 Aferição da massa específica média .....	45
8.2 Ensaio de compressão .....	46
Tabela 9: Resultados do ensaio, média aritmética e variância da resistência à compressão.....	46
8.3 Características gerais.....	46
8.4 Considerações finais .....	49
9 CONCLUSÃO.....	51
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no Brasil em edificações, sendo assim, é bastante recorrente a busca de novos materiais para agregar qualidades. A grande utilização deste material se deve basicamente ao custo/benefício que atende à grande maioria das construções brasileiras e à facilidade de manejo tanto *in loco* quanto em usinas. Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), o concreto está presente em 99% de todas as obras civis brasileiras, tendo crescido 180% o consumo de cimento entre 2005 e 2012. Então, vê-se a necessidade de sempre conseguir alguma maneira de baratear o custo desse material tão recorrido, porém sempre respeitando as diretrizes cedidas pela ABNT.

Atualmente o agregado graúdo que vem sendo utilizado pela indústria da construção civil é a brita, que consiste em algum tipo de rocha (na região estudada predomina o emprego do Gnaisse) caracterizada pelo diâmetro médio entre 4,8 mm e 152 mm, que na atual cotação dos materiais encontra-se na média de R\$ 74,00 por m<sup>3</sup><sup>1</sup>. Sendo assim, valendo-se do emprego de materiais que possuem um preço inferior pode-se ter uma economia na execução do projeto.

Além da questão do preço, o impacto causado na extração da rocha para fabricação da brita vem há anos preocupando especialistas, pelo fato de degradar não só a área onde se encontra a jazida, mas o entorno dessa jazida, principalmente se houverem moradores nas proximidades. Isto pode causar aos moradores desde um incômodo até, em casos extremos, problemas de audição, causados pelas explosões, que geralmente é a primeira forma de retirada dessa rocha.

Em contraponto à brita, a escória é uma sobra do método de fabricação de peças em ferro fundido, na qual a única função recorrente é o lançamento em trechos de estradas vicinais para gerar maior segurança aos condutores de veículos, fazendo-os evitar possíveis deslizamentos e atolamentos em trechos mais problemáticos da estrada. Porém, quando não se encontra local adequado ou não há a necessidade da aplicação em estradas, essa escória é descartada em locais

---

<sup>1</sup> Valor retirado do pregão oficial da Prefeitura Municipal de Cláudio 2014, disponível em: <>  
<http://www.claudio.mg.gov.br>.

inadequados para armazenamento ou descarte da mesma, prejudicando, assim, o meio ambiente.

O escopo deste trabalho é verificar se há a possibilidade da utilização do concreto com escória além da utilização no concreto armado, uma vez que não será testada a aplicação e possíveis reações entre a escória e o aço do concreto armado. Após a realização de outros testes, será possível apontar a possibilidade de utilização no concreto necessário para contra pisos, degraus de escadas, peças ornamentais ou em quaisquer partes das obras em que se necessita do concreto sem a armadura.

Sabe-se que, o concreto tem a função de resistir à cargas compressão e que segundo vários autores, o ingrediente mais resistente à compressão do concreto é o agregado graúdo rochoso o principal fator para o aumento dessa resistência. Sabe-se também que a escória não possui alta resistência à compressão e provavelmente serviria apenas para dar volume ao concreto. Isso explica a prematura abstenção ao teste para emprego deste novo concreto para utilização como concreto estrutural do escopo do trabalho. Porém, como um simples enchimento esse material pode ser bem útil, principalmente em peças ornamentais, porque essas peças geralmente necessitam de volume, mas não de resistência, e em partes da obra nas quais se emprega o concreto não estrutural (contra piso, por exemplo).

Até hoje, não se tem notícia se este tipo de trabalho já vem sendo realizado por algum acadêmico, encontra-se apenas textos e trabalhos (alguns utilizados como fonte de pesquisa para este trabalho) sugerindo a adição da escória moída, adicionada junto à mistura do cimento para a economia do mesmo. Isto diferencia em muitos pontos o escopo deste trabalho, uma vez que a sugestão do mesmo é a utilização da escória como agregado graúdo, ou seja, ao invés de moer a escória, será usado apenas o critério da granulometria para a adição na mistura do concreto.

Sendo assim, economizaria ainda, um processo mecânico para a produção, que seria a moagem da escória. Obviamente, necessita de um trabalho de seleção por granulometria, o qual não obrigatoriamente precisa ser mecânico.

Sendo assim, é possível afirmar, se comprovada a possibilidade de utilização deste material, a viabilidade econômica inicial para o emprego em construção civil. Porém mesmo sendo comprovada a viabilidade, ainda terá de ser usada com cautela, pois não se saberá ao certo a durabilidade deste material, uma vez que serão testados apenas características como massa e resistência mecânica à

compressão. Esse material pode ser reativo ao aço estrutural, uma vez que a escória é proveniente da retirada de impurezas na fabricação do ferro fundido.

## 2 MOTIVAÇÕES

Vários são os problemas apontados na atual fabricação do concreto convencional. Só no setor de mineração, podemos apontar a maioria deles.

Devido às constantes retaliações legislativas, cada vez mais rigorosas, principalmente forçadas pelas leis trabalhistas, uma vez que, a atividade mineradora de pequeno porte, como é o caso da obtenção da brita, é um ramo de alta periculosidade e insalubridade. Esse último fator citado, causa outro problema à mineração, que é o alto custo trabalhista desprendido. Além disso, torna-se cada vez mais difícil encontrar mão de obra adequada para execução desse serviço.

Outro fator é a progressiva degradação ao meio ambiente, causado pelo desmatamento, desvio de rios, geração de resíduos e escavação do solo durante a atividade mineradora.

A destinação dada à escória também é um fator motivacional. Esse material possui a maior parte da sua destinação em estradas rurais, para ajudar na locomoção de veículos em locais de baixa dirigibilidade. Porém essa destinação muitas vezes não é suficiente, uma vez que as estradas rurais (em sua maioria) não passam por manutenção constantemente.

### 3 POSSIBILIDADES DE RESULTADOS DO ESTUDO

O emprego da técnica de fabricação de concreto com escória, pode ser interessante tanto no ponto de vista econômico quanto no ponto de vista ambiental.

No ponto de vista econômico, o interesse pode estar no fato de que, a escória é um subproduto da fundição, então, não há uma utilidade para este material que seja realmente interessante. A escória não tem preço de produção, então, hoje em dia é possível a obtenção gratuita deste material, e se caso não for gratuito, ainda assim provavelmente será mais barato do que a brita.

Ainda no ponto de vista econômico, pode ser descoberta a vantagem de que a escória é um material mais leve do que a brita gnáissica convencional, podendo ser comprovada a possibilidade de diminuir o peso efetivo da estrutura.

No ponto de vista ecológico, pode ser citado o descarte do material em local impróprio, pois a escória, devido à sua composição básica, desprende milhares de anos em sua decomposição na natureza.

Outro fator que causa impacto ambiental é a retirada da matéria prima da brita na natureza, que causa entre outros impactos, desmatamento, poluição visual, sonora e outros fatores causados pela mineração da rocha em sua jazida.

## 4 OBJETIVO GERAL

É principalmente, diminuir o custo de fabricação do concreto e diminuir a necessidade de produção e utilização da brita rochosa em obras civis de pequeno, médio e grande porte.

A extração da brita gera degradação do meio ambiente (Figura 1) e prejudica a economia na construção. Se constatada a aplicabilidade deste concreto, poderia gerar uma grande economia e evitar a degradação do meio ambiente.

Figura 1: Exemplo de degradação causada por mineração.



. (AKIMOTO 2009 disponível em <>

[http://www.mgaminerao.com.br/pordentro/noticias/marco\\_regul.html](http://www.mgaminerao.com.br/pordentro/noticias/marco_regul.html))

### 4.1 Objetivos específicos

Especificamente, objetiva-se analisar e comparar o custo de produção do concreto convencional em relação ao concreto experimental, considerando principalmente fatores como custo de produção, além de características técnicas,

como massa, resistência mecânica à compressão e aspectos gerais, obtendo o máximo de informações possíveis sobre o concreto experimental em relação ao convencional.

Para isso serão concebidos corpos-de-prova tanto de um quanto de outro concreto, utilizando, para confecção, a mesma metodologia, o mesmo traço e os mesmos materiais, mantendo também a mesma idade desses corpos.

## 5 JUSTIFICATIVA

O concreto é, como já dito, imensamente utilizado hoje no Brasil. Dados revelam que o Brasil é o 10º país no mundo na produção de cimento como mostrado na Tabela 1<sup>2</sup>:

Tabela 1: Ranking de produção de cimento em milhões de toneladas no ano de 2006

Posição	País	Quantidade	%
1º	China	1220,8	48%
2º	Índia	161,7	6,4%
3º	EUA	99,5	3,9%
4º	Japão	73,2	2,9%
5º	Espanha	54	2,1%
6º	Rússia	53,9	2,1%
7º	Coreia do Sul	51,4	2%
8º	Itália	49	1,9%
9º	Turquia	47,9	1,9%
10º	Brasil	42,4	1,7%
11º	Tailândia	41,3	1,6%
12º	México	38,6	1,5%
	Total Mundial	2542	100%

(CIMENTO MUNDO, 2009).

Mesmo sendo um 10º lugar algo aparentemente razoável, o Brasil estava à frente de países como México e Tailândia, dois grandes mercados.

<sup>2</sup> CARVALHO, J. D. N. de. Sobre as Origens e Desenvolvimento do Concreto. **Anais**. Universidade Estadual de Maringá. Maringá/PR. 2008. Disponível em: <>  
<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/download/8169/5163>

Excluindo as construções industriais, os galpões, tradicionalmente construídos em estruturas metálicas, pode-se aceitar o concreto armado como unanimidade em construções do sul e sudeste, regiões mais desenvolvidas do Brasil.

Mas mesmo os galpões usam o concreto, seja armado ou não, em sua constituição, como contra piso ou fechamento.

Então, devido ao grande emprego do concreto na construção civil atualmente, é necessária a pesquisa de novos materiais e métodos que agreguem algum tipo de vantagem, seja econômico, ambiental ou qualquer outra vantagem direta ou indireta.

## 6 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Devido à alta concentração deste material na região estudada, Cláudio – Minas Gerais, e também devido à falta de destino à esse material é viável a utilização da escória para outros fins além dos fins atuais.

Para uma melhor compreensão do trabalho, serão apresentadas algumas considerações.

### 6.1 Processos atuais de fabricação do ferro fundido relacionado ao surgimento da escória

O ramo empresarial está sempre procurando novas tecnologias para produção do ferro fundido, visando aumentar a lucratividade, a qualidade e/ou diminuir a emissão de poluentes.

#### 6.1.1 Um breve sobre a fundição

A fundição é a indústria que transforma a matéria-prima no ferro fundido tradicional. É um dos métodos de fabricação mais antigos do mundo e até hoje é empregado pelo homem, porém hoje existem métodos mais avançados, que agregam maior qualidade nos produtos finais.

Na região, a metalurgia foi introduzida no início do século XX, trazida pelos imigrantes libaneses. A partir da década de 1950 esse processo começou a ser difundido pelos moradores e atualmente o setor de fundição é o principal setor econômico de Cláudio – Minas Gerais, representando cerca de 22,7% do PIB do município<sup>3</sup>, sendo superado apenas pelo setor de serviços.

A porcentagem apresentada exclui os serviços e outras atividades relacionadas ao setor de fundição.

---

<sup>3</sup> INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Infográficos: Dados Gerais do Município.** Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=311660&search=minas-gerais%7Cclaudio%7Cinfograficos:-dados-gerais-do-municipio>. Acesso em Abril, 2014 <>

Atualmente, essa indústria se encontra principalmente em dois processos que são a fundição em fornos de indução e a fundição em forno cubilô.

A fundição em forno de indução é, em seu princípio de compreensão, muito mais simples. Basicamente, o forno de indução é um forno elétrico no qual recebe os materiais metálicos (cargas) ferrosos ou não-ferrosos por meio da indução elétrica. Então, esses materiais se fundem formando o material desejado. Este tipo de forno permite um melhor controle dos materiais produzidos, pois é possível controlar minuciosamente os materiais adicionados à carga.

Já o forno cubilô é um forno de fusão que além dos materiais metálicos, exige a adição de materiais combustíveis em sua carga e outros materiais para controle de metalografia. Sendo assim, o forno cubilô é um forno de fusão que realiza em seu processo reações físicas e químicas, possibilitando apenas a produção de ligas de ferro fundido.

Em geral, este forno é vertical, com a parte exterior feito de chapas de aço e interior revestida com tijolos cerâmicos refratários. Possui a parte superior aberta para adição dos materiais fundentes (carga) e a parte inferior um sistema que permite a abertura no momento desejado para remoção de materiais que não se fundiram e/ou consumiram no processo.

A carga do forno se constitui basicamente de carvão coque (responsável pelo aquecimento do forno), ferro gusa (material metálico ferroso), calcário, sucatas de aço e ligas. As ligas são outros materiais metálicos adicionados em pequenas quantidades que têm função de agregar diferentes propriedades ao produto final.

O que explica o fato deste forno ainda ser bem difundido segundo<sup>4</sup> é que o custo de instalação do forno Cubilô convencional é considerado relativamente baixo, particularmente para fundições menores, sendo capaz de propiciar a qualidade apropriada ao ferro fundido, principalmente se comparado à novos métodos de fabricação.

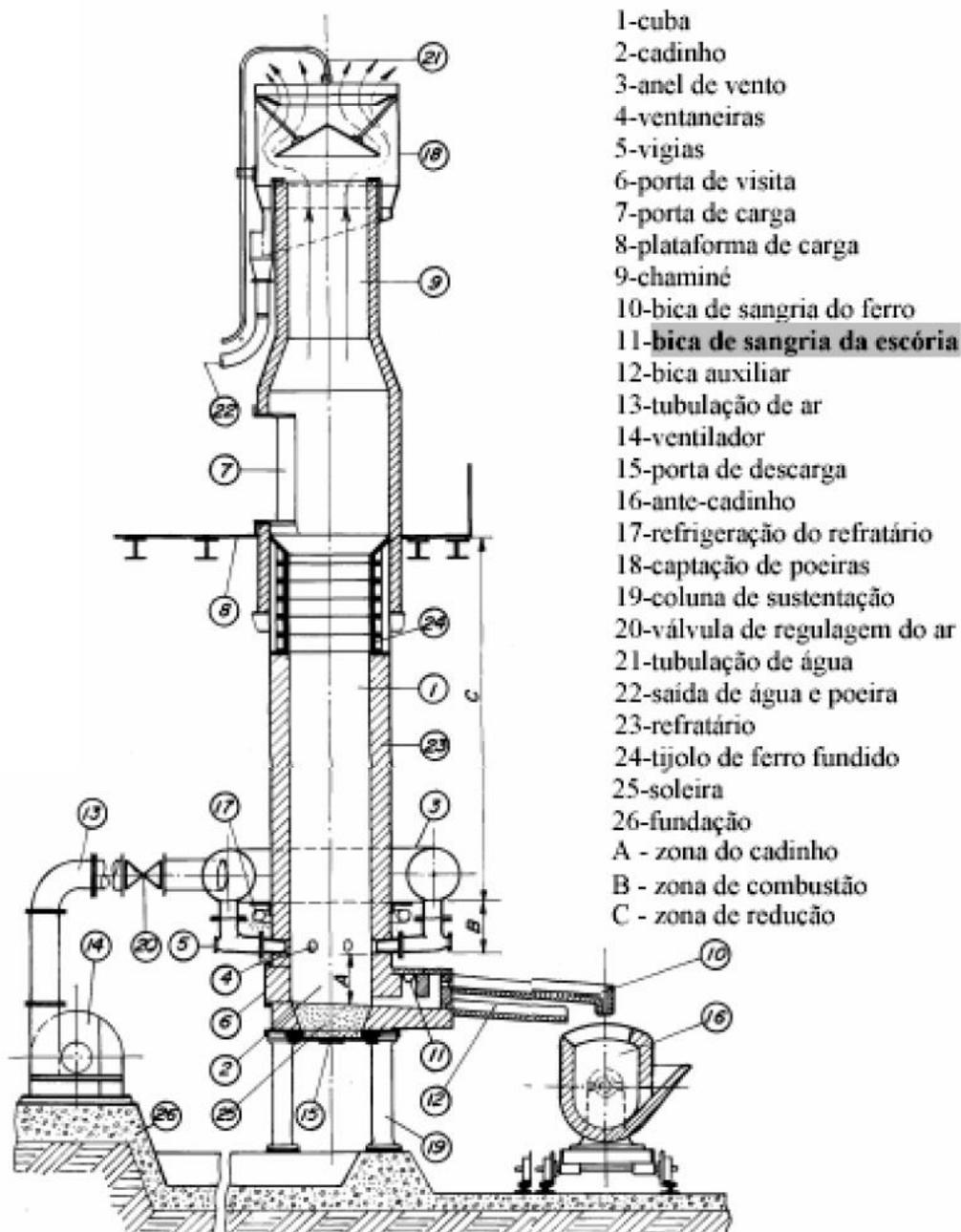
Não há outros tipos de forno comercialmente difundidos.

O forno cubilô é composto de partes como cuba, cadinho, bicas para escorrimento do metal e escória (separadamente) e várias outras partes, conforme são demonstradas na figura 2:

Figura 2: Estrutura detalhada de um forno cubilô.

---

<sup>4</sup> Powen e Smith (1999, p. 20)



(Pieske et al. 1980)

### 6.1.2 O que é o ferro fundido

O ferro fundido é um material ferroso de liga basicamente ternária (Fe-C-Si) que se diferencia do aço devido à quantidade de carbono em sua composição, que pode variar de 2 a 4% de carbono. Este material é muito pouco utilizado na

construção civil, mas muito empregado na indústria, produção de maquinários, móveis etc. Existem diversos tipos de ferros fundidos, porém os métodos de fabricação são os mesmos sendo diferenciados por características (excluindo os ferros-liga) pós-fusão, como tempo de resfriamento e tratamentos térmicos. Sendo assim o denominador de todos os tipos de ferro fundido é a carga do forno.

### 6.1.3 A escória do ferro fundido

A escória é tudo aquilo que não tem utilidade na formação, ou seja, pode ser formada por qualquer material que esteja impregnado ou misturado à carga do forno. A composição e demais características deste material se relaciona diretamente com a eficiência do forno utilizado e a qualidade do metal produzido.

A escória deve<sup>5</sup> conter o mínimo possível de óxidos de ferro e manganês, não prejudicar o aumento de carbono e não aumentar a queima de silício e manganês, ocasionar a mínima incrustação sobre o refratário (corpo do forno, canal de vazamento e sifão de pressão) e absorver o enxofre.

A escória é retirada em um canal situado na lateral do forno, podendo ser escorrida junto à água corrente, para agilizar a solidificação da mesma. Quando resfriada rapidamente, a escória adquire uma forma amorfa de apresentação vítrea, com um diâmetro podendo variar de 2 mm a 100 mm, normalmente. Essa escória de apresentação vítrea é, geralmente, o tipo de escória na qual possui uma grande resistência mecânica.

Como visto, assim como acontece com o resfriamento do ferro, ocorre com a escória. Ou seja, o tempo de resfriamento é o principal fator da formação dos cristais no material.

A composição típica da escória (Tabela 2) é formada principalmente por dióxido de silício, o óxido de cálcio e a alumina (proveniente do desgaste do refratário).

---

<sup>5</sup> CASPERS, K.H. Fusão de ferro fundido sintético em forno cubilô. **Revista Fundição e Serviços**, São Paulo, Março, 1999, p.34 – 44.

Tabela 2: composição química típica de uma escória de cubilô.

Composto	%
SiO <sub>2</sub>	45-55
CaO	25-40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8-20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-3
MgO	1-4
MnO	1-6
Sulfetos	<1
TiO <sub>2</sub>	<1
ZnO	<1

(European IPPC Bureau, 2002)

## 6.2 UM BREVE SOBRE A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é uma indústria que possui uma grande capacidade de absorver subprodutos de outros processos de fabricação de materiais, inclusive de resíduos da própria construção. Grande prova disso, é que vários elementos do cimento Portland é subproduto de algum processo, como por exemplo, a escória de alto forno, à qual é diferente da escória em questão neste trabalho.

Segundo Shen e Tam (2001, p.536), existem benefícios óbvios através da implementação de gerenciamento ambiental nas atividades de construção para a comunidade, como a redução da geração de resíduos e a minimização do uso de materiais e técnicas que podem causar efeitos prejudiciais ao meio ambiente.

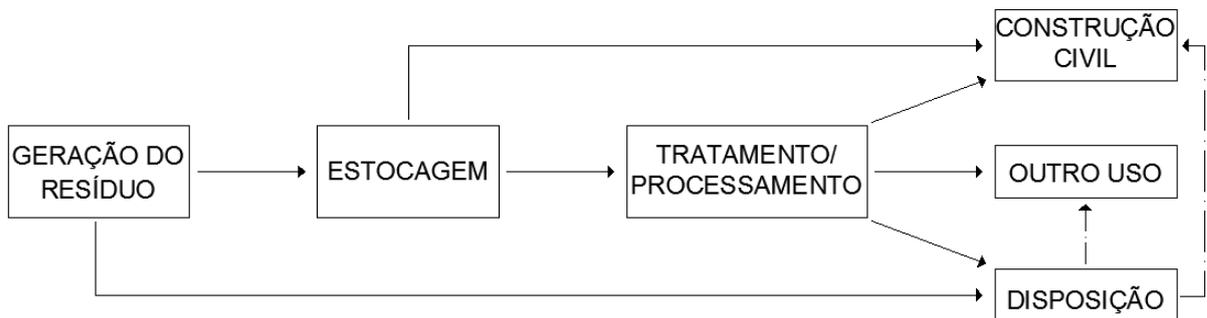
Porém, o potencial de reaproveitamento de resíduos da construção ainda é muito mal aproveitado, por vários motivos. O principal deles é falta de informação.

Para Gidley e Sack (1984, p.1117), uma vasta variedade de resíduos são utilizados ou potencialmente utilizáveis na construção civil. Os autores também sugerem que, antes de se utilizar um resíduo como material alternativo, deve-se

questionar primeiramente qual o impacto ambiental geral que um resíduo específico causará em particular, porém até hoje não é dada a importância ideal para esse estudo, visto que este estudo já se iniciou há 30 anos e não houveram grandes avanços nesta área.

Concomitantemente, deve-se questionar se o impacto da utilização de um subproduto originalmente gerado como resíduo será maior ou menor do que a matéria-prima originalmente especificada. As considerações de impactos ambientais não devem, contudo, se restringirem ao local ou setor em que será utilizado o subproduto. Deve-se considerar também os impactos gerados no próprio ambiente da geradora do resíduo, no que se refere à questão de estocagem, tratamento e processamento e transporte dos materiais. Esse “ciclo de vida” proposto está na Figura 3:

Figura 3: ciclo de vida dos resíduos a ser considerado quando da sua utilização na Indústria da Construção.



(Gidley;Sack, 1984)

Já foram realizados inúmeros estudos acerca da inclusão de subprodutos na construção civil e os que se mostram mais adequados à esta aplicação são os resíduos da metalurgia, sendo desta, o principal resíduo a escória.

Porém, a gestão de resíduos se encontra inviabilizada, principalmente na construção civil. Parte disso ocorre pela falta de procura dos profissionais da área em pesquisar ou recorrer à métodos diferentes dos mais usuais para construção. Qualquer tipo de novidade causa preconceito nos profissionais, que têm por tradição se recusar a trocar “o certo pelo duvidoso”.

### 6.3 CONSIDERAÇÕES PARA ADIÇÃO DA ESCÓRIA NO CONCRETO

Neste capítulo serão comentadas as principais considerações para a realização dos experimentos.

#### 6.3.1 O Concreto no Brasil

Considerado atualmente o principal elemento da indústria da construção atual, o concreto está presente em todos os países do mundo, e no Brasil, este elemento é difundido tanto em obras civis de pequeno porte quanto de grande porte, sejam essas obras particulares ou públicas. Este patamar de popularidade do concreto foi obtido graças às propriedades do concreto, que é utilizado em quase todos os processos de construção de uma edificação, desde as fundações ao acabamento, além do fato de que, seu único concorrente direto (no caso do concreto armado) para construção de estruturas, os perfis metálicos, tem uma melhor eficiência em relação à propriedades mecânicas, porém, um custo bastante elevado para a realidade brasileira.

Segundo SANTOS (2006), o concreto, inicialmente empregado em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir de fins do século XIX o concreto passou a ser utilizado também em edificações. Contudo, em nenhum país do mundo modernizado a tecnologia do concreto armado é tão predominante quanto no Brasil. Ainda segundo ele:

O concreto é o material estrutural absolutamente hegemônico nas construções das cidades brasileiras, sejam elas formais ou informais. O uso tão amplo, diverso e por vezes indiscriminado do concreto armado em nossas cidades parece resultar daquilo que se denomina “tecnologia formal adaptada”.

Por “tecnologia formal adaptada” entende-se práticas rotineiras, porém errôneas, usualmente encontradas em construções, principalmente as construções localizadas em aglomerados, subúrbios e áreas pobres (figura 4), onde as obras são realizadas quase que em 100% dos casos, sem nenhum conhecimento técnico, projeto e/ou estudo.

Parte disso é atribuído ao fato de que, em crença popular, o concreto é um material muito simples de ser fabricado, pode ser fabricado em qualquer lugar e não requer nenhuma ferramenta em especial. Sabe-se, por comprovantes históricos, que de fato essas considerações não são completamente errôneas. O errado é acreditar que não é necessário o conhecimento técnico para estruturas e edificações. Este tipo de crença foi o que influenciou, principalmente, as aberrações que encontramos em edificações atualmente.

Figura 4: Exemplo de Aglomerado.



(Fonte: Divulgação)

Outro fator é que o concreto armado é o material para fabricação de estruturas com o melhor custo/benefício da atualidade, se comparado ao aço e à madeira, materiais não tão modernos, mas concorrentes em aplicação.

Na região estudada, especificamente o município de Cláudio – Minas Gerais, o concreto armado e estruturas em aço substituiu completamente as antigas construções de pau a pique, material feito principalmente de madeira e argila revestida com uma mistura de argila e cal, tendo como seus principais elementos

estruturais a madeira e rochas com tamanho equivalente à pedras de mão. Essas construções foram utilizadas na grande maioria das casas construídas desde o início da povoação da região até o início e meados do século XX, época na qual o concreto começou a imperar nas construções. Atualmente, ainda é possível encontrar construções desse tipo, como, por exemplo, a sede da Prefeitura Municipal de Cláudio, imóvel datado do fim do século XIX.

A grande explosão do concreto no Brasil é atribuído à meados de 1940/50, porém, a primeira fábrica cimenteira do Brasil foi concebida já no ano de 1888<sup>6</sup>, quando o comendador Antônio Proost Rodovalho empenhou-se em instalar uma fábrica na fazenda Santo Antônio, de sua propriedade, situada em Sorocaba-SP. Várias iniciativas esporádicas de fabricação de cimento foram desenvolvidas nessa época. Assim chegou a funcionar durante apenas três meses, em 1892, uma pequena instalação produtora na ilha de Tiriri, na Paraíba, cuja construção data de 1890, por iniciativa do engenheiro Louis Felipe Alves da Nóbrega, que estudara na França e chegara ao Brasil com novas ideias, tendo inclusive o projeto da fábrica pronto e publicado em livro de sua autoria. Porém, não obteve sucesso, principalmente devido à distância dos centros consumidores.

Após várias tentativas fracassadas, em 1924 foi fundada a Companhia Brasileira de Cimento Portland, em Perus, São Paulo. Atualmente a participação de produtos importados para a fabricação do cimento e o próprio cimento importado oscilou durante décadas, até praticamente desaparecer nos dias de hoje.

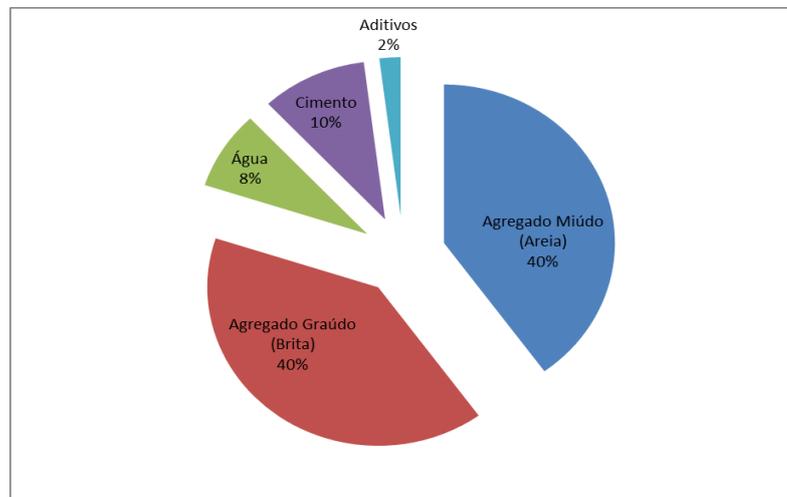
### 6.3.2 Visão dos Agregados na Construção Civil

Em média, os agregados ocupam cerca de 80% do volume de materiais em uma construção, sendo divididos em 40% de brita e 40% de areia, como indica o Gráfico 1:

---

<sup>6</sup> Associação Brasileira de Cimento Portland. **Uma Breve História do Cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland#.U4iyrPldU3k>>

Gráfico 1: Quantidade em volume médio utilizado em estruturas

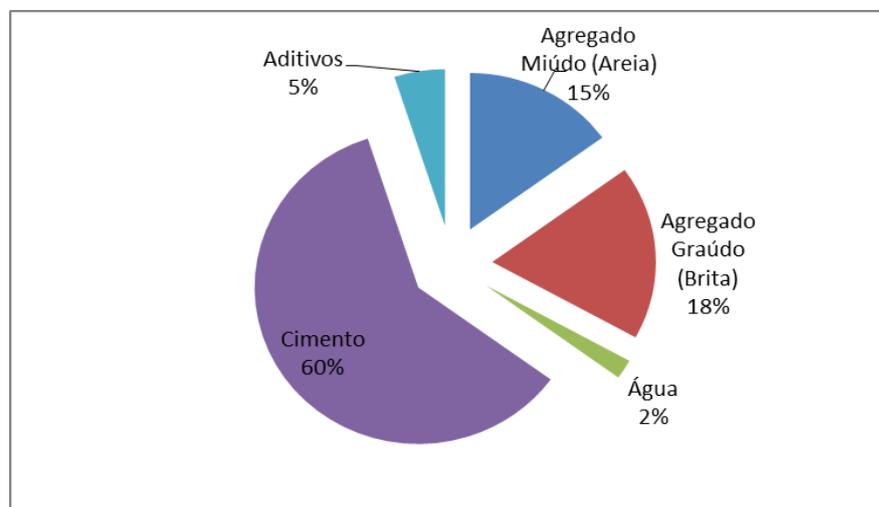


(ANEPAC, 2007)

Sendo assim, a necessidade de grandes quantidades de agregados em uma obra é facilmente observada, mesmo que seja em uma obra de pequeno porte, como residências unifamiliares pequenas, casas populares e até mesmo obras de contenção, principalmente o muro de arrimo.

Porém, representam uma fatia menor no custo de construção de uma estrutura, como pode ser observado no Gráfico 2:

Gráfico 2: Percentual de investimento médio em materiais



(ANEPAC, 2007)

Como mostrado, o agregado graúdo corresponde a 18% na construção de estruturas.

Contudo, o volume ainda continua sendo alto em relação aos outros elementos e isso apenas considerando o concreto estrutural. Como um exemplo palpável, a construção de uma casa popular de 50m<sup>2</sup>, exige aproximadamente 68 t de agregados. Todavia, agregados não são usados apenas em concretos, os agregados são utilizados também no asfalto, além do simples lançamento em solo para evitar proliferação de ervas, muito comum em estacionamentos. Mais correspondências na Tabela 3:

Tabela 3: Consumo de agregado por aplicação.

<b>Aplicação</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Consumo</b>
<b>Auto-construção</b>	35m <sup>2</sup>	21t
<b>Habitação popular</b>	50m <sup>2</sup>	68t
<b>Edifício</b>	1000m <sup>2</sup>	1360t
<b>Obra padrão</b>	1120m <sup>2</sup>	1675t
<b>Pavimentação urbana</b>	1km/10m	3250t
<b>Estrada pavimentada</b>	1km	9800t
<b>Manutenção de ruas</b>	1km	100t
<b>Manutenção de estradas</b>	1km	3000t
<b>Metrô</b>	1km	50000t

(Fipe/USP, 2005).

A extração de agregados é um grande problema tanto para o meio ambiente quanto para as próprias indústrias mineradoras. A indústria de mineração é um dos ramos de atividade econômica que mais registra informalidade e pouco acervo técnico, o que faz com que o ramo de mineração de agregados seja desvalorizado e geralmente inseguro, uma vez que, sendo informal, sempre possui uma reduzida qualificação pessoal.

Além disso, a mineração, como já dito, gera um grande impacto ao meio ambiente, causando desmatamentos, poluição sonora, visual e em certos casos, poluição na água.

### 6.3.3 Escopos do estudo

Segundo Marchetti;Botelho (2010), o agregado graúdo é o legítimo herdeiro da pedra natural que o concreto vai tentar substituir. Lembrando que a resistência média dos concretos varia normalmente de 15 a 40 MPa, enquanto as pedras possuem resistência média variando na faixa de 80 a 200 MPa. Vê-se por aí que o concreto nada mais é que uma pedra artificial fraca e que o uso mais intenso possível de agregado é vantajoso em termos de resistência.

Sendo assim, substituir o agregado graúdo pode não ser vantajoso quanto à resistência. Sabe-se que a resistência à compressão da escória é bem menor do que a resistência à compressão das rochas utilizadas como agregado graúdo, porém é possível encontrar uma mistura vantajosa, que atenda às especificações para concretos de enchimento, ornamentais ou até o chamado concreto magro<sup>7</sup>.

Aceita-se o termo concreto de enchimento para concretos utilizados em construção, porém sem valor estrutural, como o empregado em contra pisos, por exemplo. Ainda no exemplo de contra pisos, uma construção de 50 m<sup>2</sup>, utiliza em média por volta de 5 m<sup>3</sup> de concreto e, conseqüentemente, por volta de 2 m<sup>3</sup> de agregado graúdo. Substituindo-se a brita neste caso, é possível obter uma economia de R\$ 148,00 da brita que seria utilizada. Essa demonstração apresenta um valor irrisório, dado o valor total de uma obra. Contudo se for analisado uma obra de grande porte, um edifício de 42 pavimentos e 52000 m<sup>2</sup> de área construída, utilizando a mesma base de cálculo e substituindo apenas o contra piso, é possível obter uma economia de R\$153.920,00, dado o fato de que a escória atualmente não tem valor de mercado.

Como não existem estatísticas para peças ornamentais feitas em concreto, não foi possível fazer uma análise do volume x custo que esse mercado consome. Mas ele está sendo considerado, pois, peças ornamentais nem sempre necessitam

---

<sup>7</sup> Concreto com  $F_{ck} \geq 15$  Mpa. Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6118/2003, Item 8.2.1

de boas propriedades mecânicas, possibilitando o emprego do concreto experimental com escória.

Também pode ser citado como aplicação, a fabricação de artefatos pré-fabricados de concreto não estruturais, os quais têm uma enorme gama de produtos, que vão desde a aplicação agropecuária até grandes obras civis, passando inclusive por cercamentos, por exemplo.

Em média, cerca de 48% do volume de concreto utilizado em uma obra civil comum não é para fins estruturais, mas sim para as aplicações acima mencionadas, podendo, esta porcentagem aumentar dadas as aplicações da construção ou detalhes arquitetônicos.

Estudos realizados acerca da aplicação da escória granulada moída em substituição do cimento em mistura dos concretos revelaram que este material possui uma característica aglutinante, assim como a do cimento. Este não é um dos escopos deste projeto, porém, esse fator pode adicionar resistência ao desgaste ao material.

Segundo Pagnussat (2004), um estudo da aplicação da escória granular fundida (EGF) em substituição parcial de cimento em blocos de concreto pré-fabricados para pavimentação tipo *unystein* (figura 5) apresentou os seguintes resultados para abrasão, em corpos-de-prova de idades de 10 e 28 dias, ensaiados pelo método Cientec de desgaste à abrasão. Os resultados foram apresentados na tabela 4.

Figura 5: Bloco unystein.



(Fonte: Divulgação)

Tabela 4: Resultados médios e individuais de desgaste por abrasão nos corpos-de-prova extraídos dos blocos com substituição parcial de cimento por EGF e referência.

Idade (dias)	Peça	CP nº	Índice de desgaste (mm)		Média geral
			Individual	Média	
10	REF	1A-1	2,96	3,71	3,87
		1A-2	4,46		
	REF	1B-1	3,56	4,03	
		1B-2	4,49		
	10%	1A-1	4,46	4,50	4,84
		1A-2	4,53		
	10%	1B-1	4,83	5,19	
		1B-2	5,54		
	30%	1A-1	3,50	3,92	4,17
		1A-2	4,34		
	30%	1B-1	3,63	4,42	
		1B-2	5,21		
	50%	1A-1	4,87	4,19	4,62
		1A-2	3,50		
50%	1B-1	4,59	5,05		
	1B-2	5,50			
28	REF	1A-1	4,54	4,94	5,81
		1A-2	5,34		
	REF	1B-1	6,53	6,68	
		1B-2	6,83		
	10%	1A-1	2,92	4,49	3,70
		1A-2	6,06		
	10%	1B-1	2,65	2,91	
		1B-2	3,17		
	30%	1A-1	5,12	5,21	5,28
		1A-2	5,30		
	30%	1B-1	5,28	5,35	
		1B-2	5,42		
	50%	1A-1	5,34	5,28	5,64
		1A-2	5,21		
50%	1B-1	5,54	6,00		
	1B-2	6,45			

(PAGNUSSAT 2004)

Analisando estatisticamente os valores médios de cada um dos corpos-de-prova da Tabela 4, através da análise de variância (ANOVA), demonstra que a idade e o teor não exercem uma influência significativa sobre o desgaste à abrasão, em relação à blocos de referência, como mostra a Tabela 5:

Tabela 5: Análise de variância (ANOVA)

	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F(calc)</b>	<b>F(tab)</b>	<b>Significância</b>
<b>Idade</b>	3	0,505	1,062	4,07	NS
<b>Teor</b>	1	2,168	4,558	5,32	NS
<b>Id x TE</b>	3	1,736	3,649	4,07	NS
<b>Erro</b>	8	0,456			

(PAGNUSSAT 2004)

Sendo, GDL graus de liberdade, MQ média quadrática, F(calc) valor calculado de F, NS valor não significativo, S valor significativo.

## **7 MÉTODO ADOTADO**

Para testar a hipótese apresentada, serão citados breves sobre a produção dos materiais envolvidos e serão realizados testes e ensaios de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas pertinentes aos mesmos.

O tipo de pesquisa será a pesquisa descritiva com experimentos, o local da pesquisa será o já mencionado município de Cláudio, Minas Gerais.

A fins de comparação, serão moldados corpos-de-prova compostos com materiais convencionais e outros com substituição de 100% de escória em substituição à brita, quantidade de corpos-de-prova dos dois tipo. Devido à dificuldade para aquisição dos materiais e instrumentos, não serão testadas diferentes dosagens de escória em relação à brita.

Como instrumento para coleta de dados, além da pesquisa bibliográfica, será feita uma breve pesquisa de campo, abordando principalmente a metodologia usualmente utilizada na região, visando aumentar a praticidade no uso do material e aproximá-lo do uso comercial.

Pretende-se obter como dados de pesquisa o custo de produção comparativo, estatísticas para medição de consumo dos materiais empregados e as características gerais do concreto experimental, principalmente a massa e a resistência axial à compressão.

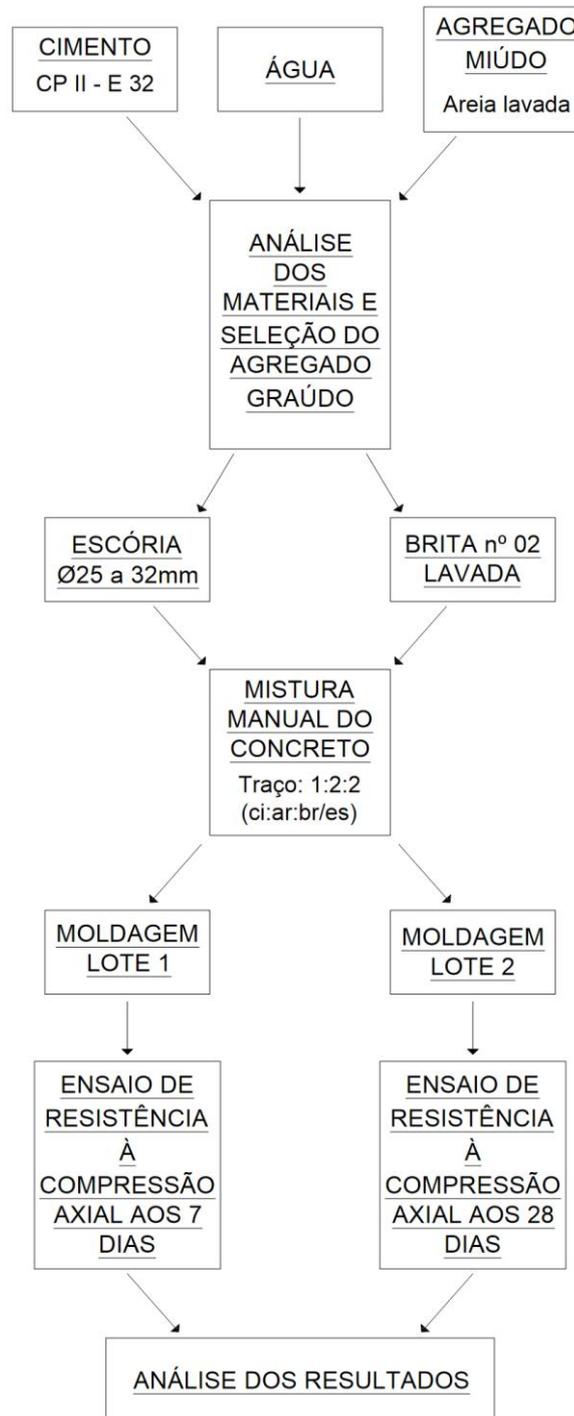
Os dados obtidos na pesquisa serão usados para exemplificar de maneira mais simples a comparação. Sendo assim, será possível afirmar se há ou não a possibilidade ou ainda a viabilidade do emprego do concreto com escória.

### **7.1 Cronograma de execução do projeto**

O experimento foi realizado em duas etapas simultâneas, uma etapa foi a confecção dos corpos-de-prova de concreto convencional e a outra foi a confecção de corpos-de-prova de concreto experimental.

A ordem cronológica da execução pode ser apresentada simplificada por meio do fluxograma da figura 6:

Figura 6: Cronograma de execução do projeto em fluxograma.



## 7.2 Confeção dos corpos-de-prova

A seguir, serão apresentadas as metodologias utilizadas para confecção dos corpos-de-prova do experimento.

### 7.2.1 Moldes

Segundo a norma NBR 5738, os moldes para corpos-de-prova cilíndricos devem ser preferencialmente feitos de aço ou outro material não absorvente, não reagente e que tenha resistência suficiente para acondicionar o concreto sem sofrer nenhum tipo de deformação.

Devido ao fato de ser um material que corresponde à todas essas exigências e também devido à falta de moldes de aço em tempo hábil para confecção dos corpos-de-prova, foram fabricados 18 moldes cilíndricos de base circular em PVC com diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm, medidas regulamentadas pela NBR 5738/2003, que rege, para corpos-de-prova cilíndricos, que o diâmetro seja de 100 a 450 mm e a altura corresponda ao dobro dessa medida, ou seja, de 200 a 900 mm.

Estes moldes foram dispostos em grupos de oito em uma bancada e entre a bancada e os moldes foi colocada uma lona plástica para evitar o contato dos corpos-de-prova com a bancada

### 7.2.2 Mistura

A fim de proporcionar uma melhor comparação entre as características dos materiais finais do estudo, foram misturados dois tipos de concreto. Primeiramente foi misturado e moldado um concreto convencional, a fim de acertar detalhes como traço e tipo de mistura, lembrando que este concreto convencional também será testado. Posteriormente foi misturado o concreto experimental, com exatamente o mesmo traço, porém substituindo a brita pela escória.

A escória utilizada na mistura foi coletada em um depósito pertencente à Prefeitura Municipal de Cláudio, onde é acondicionada para posteriormente ser utilizada, geralmente em estradas de terra, para evitar o acúmulo de lama e aumentar a dirigibilidade. A coleta teve de ser realizada manualmente, pois assim pôde ser garantida a granulometria do material utilizada.

Foram utilizadas escórias de todos os tipos encontrados normalmente, porém com a granulometria aproximada semelhante à da brita.

O cimento utilizado, por questões de disponibilidade, foi o Lafarge Campeão® CP II – E 32. Segundo a fabricante, esse concreto possui escória de alto forno

substituindo o clínquer, sendo indicada para todos os tipos de aplicação doméstica. Estudos apontam que esse cimento consegue obter, para o traço 1:2:2, 20 Mpa de resistência à compressão.

Para evitar qualquer tipo de problemas durante a comparação com fontes externas ao experimento, foram moldados a mesma quantidade de corpos-de-prova utilizando o mesmo traço, porém utilizando brita como agregado graúdo.

Para a mistura foi usado um traço popularmente conhecido com 1:2:2, que corresponde à uma medida de cimento para duas medidas de areia e duas medidas de brita/escória em ambas as misturas

Os dois tipos de concreto presentes foram misturados manualmente por meio de enxada, em um canteiro de obras de um edifício em execução, localizado à Av. Araguaia em Cláudio/MG e carregados em um recipiente plástico por cerca de 40 m, onde foram moldados.

A mistura manual foi empregada devido à falta de betoneira disponível em tempo hábil.

Além disso, o transporte manual foi feito por indisponibilidade de mistura in loco.

### **7.2.3 Moldagem**

A moldagem foi realizada, como já previamente comentado, à cerca de 40 m do local onde foi misturado.

Para a moldagem, além dos moldes foi utilizado um vergalhão usinado com diâmetro final de aproximadamente 17 mm exercendo a função de haste de adensamento.

A metodologia adotada para a confecção dos corpos-de-prova foi a explícita na NBR 5738/2003. Segundo a mesma, para as medidas utilizadas, deve-se adicionar o concreto no corpo de prova em duas camadas, aplicando doze golpes com a ferramenta, que no caso foi o vergalhão, a fim de adensar o concreto. onde foram moldados (ver tabela 6).

Tabela 6: Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova\*

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	1	3	25
	200	2	4	50
	250	2	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

**\*Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camada deve ser reduzida a metade estabelecida nesta tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.**

(ABNT NBR 5738:2003)

#### 7.2.4 Cura

Após moldados, os corpos-de-prova ficaram acondicionados nos moldes durante cerca de 24h, tendo sido moldados por volta das 16 horas do dia 10 de Setembro de 2014 e removidos do molde por volta das 16 horas do dia 11 de Setembro de 2014.

A norma rege que a partir do momento que são removidas do molde, os corpos-de-prova permaneçam em uma câmara úmida de 95% de umidade. Como se sabe, usualmente é difícil manter uma câmara de umidade controlada, então o que

normalmente é feito, é colocar os corpos-de-prova submersos em água limpa e longe do ataque de intempéries. Sendo assim, o método adotado foi o que é usualmente adotado entre as empresas e laboratórios.

Os corpos-de-prova, então, foram mantidos em um barril plástico, onde puderam ser acondicionados em local protegido da ação do sol e demais intempéries, até o momento de serem transportados para o local onde foram analisados.

### **7.3 Ensaios**

Os ensaios utilizados foram, por limitação de projeto, apenas de compressão axial e aferição da massa.

Para uma melhor assimilação das características do novo concreto, seria interessante também algum tipo de teste de resistência ao desgaste, uma vez que a escória, por ter apresentação geralmente vítrea, poderia apresentar uma resistência ao desgaste satisfatória, gerando a possibilidade desse material ser usado em blocos de pavimentação, por exemplo.

#### **7.3.1 Aferição da massa específica média**

Como já dito, a massa geralmente baixa da escória seria uma potencial vantagem, reduzindo a massa final do concreto e reduzindo os esforços em peças estruturais de um edifício. Em um edifício de pequeno porte, como por exemplo, uma residência de um pavimento, provavelmente esta característica nem seria notada. Porém em um edifício de vários pavimentos, esta característica poderia ser notada e bem aproveitada.

Baixa massa específica culminaria em economia de concreto estrutural e aço, gerando uma economia no custo final da obra, além do que foi economizado com a diminuição da compra da própria brita.

Sendo assim, foram aferidas, no próprio laboratório da empresa Pavidez, as massas de todos os corpos-de-prova, comuns e experimentais, para que a comparação fique mais confiável.

### **7.3.2 Ensaio de compressão**

O mais importante dos testes nos quais serão submetidos os corpos-de-prova, o ensaio de compressão tem por função demonstrar a real capacidade de resistência do concreto experimental.

Este ensaio consiste em uma máquina, que por meio de movimentação mecânica, gera uma força horizontal de cima pra baixo em uma peça, por definição cilíndrica e com as extremidades horizontais e lisas. Existem inúmeros modelos destes equipamentos no mercado, podendo ser desde analógico (manual) a computadorizado. Normalmente, em empresas de pequeno porte, são utilizados os manuais.

Através da coleta de dados apresentada pela máquina, é possível calcular a resistência mecânica da peça testada, obtendo o resultado em medidas que assimilam a pressão aplicada à área de contato da máquina com a peça, preferencialmente a área total da extremidade da peça.

O ensaio foi realizado na empresa Pavidez Engenharia Ltda., localizada na área rural da cidade de Arcos – Minas Gerais. O equipamento utilizado para o ensaio foi a denominada Prensa Manual Contenco® 120000 kgf, operada pelos próprios técnicos laboratoristas da empresa.

## 8 RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados dos ensaios e estudos acerca do experimento.

### 8.1 Aferição da massa específica média

Foram testados 5 corpos de prova de cada tipo de concreto, obtendo os resultados apresentados na tabela 7:

Tabela 7: Massa média entre corpos-de-prova

Amostra	A1	A2	A3	A4	A5	Média (kg)
Com brita	3,328	3,290	3,278	3,238	3,306	3,288
Com escória	2,996	2,966	3,070	3,120	3,046	3,040

(Fonte: Ensaio)

A partir desta tabela já é possível notar uma diferença considerável entre a massa dos dois tipos. Na tabela 8, encontramos os resultados de massa específica:

Tabela 8: Massa específica média

Amostra	A1	A2	A3	A4	A5	Média (kg/m <sup>3</sup> )
Com brita	529,668	523,620	521,710	515,344	526,166	523,301
Com escória	476,828	472,054	488,606	496,563	484,786	483,767
Volume (m <sup>3</sup> )	0,006283185					-

(Fonte: Ensaio)

Com estes resultados, é possível afirmar a considerável diferença de massa entre os dois concretos, sendo o concreto com escória em média 7,6% mais leve. Sendo assim, a hipótese que o concreto experimental seria mais leve em comparação foi confirmada.

## 8.2 Ensaio de compressão

Os mesmos 5 corpos-de-prova de cada tipo de concreto foram ensaiados, obtendo os seguintes resultados:

Tabela 9: Resultados do ensaio, média aritmética e variância da resistência à compressão

Tipo de concreto	Nº Ref.	Rompimento	Idade	Leitura da prensa	Carga (mPa)	Média	Variância
Escória	1	08/10/2014	28	1300	17,68	20,672	4,99392
	2	08/10/2014	28	1600	21,76		
	3	08/10/2014	28	1700	23,12		
	4	08/10/2014	28	1400	19,04		
	5	08/10/2014	28	1600	21,76		
Brita	1	08/10/2014	28	2200	29,92	24,752	9,61792
	2	08/10/2014	28	1600	21,76		
	3	08/10/2014	28	1800	24,48		
	4	08/10/2014	28	1700	23,12		
	5	08/10/2014	28	1800	24,48		

(Fonte: Ensaio)

A partir dos resultados, é possível afirmar que o concreto pode, considerando apenas a resistência mecânica à compressão, ser utilizada em estruturas, uma vez que a norma NBR 6118/2004 permite para cálculo de estruturas, concretos de  $f_{ck} \geq 15$  MPa.

## 8.3 Características gerais

Uma característica que pôde ser notada é que, apesar da grande variedade de tipos de escória encontradas até mesmo em meio ao mesmo lote produzido, a variância obtida é 49% menor do que a encontrada no concreto convencional. Isto é interessante, pois nesta grande variedade de escória encontradas, algumas são

muito mais resistentes que outras. O motivo desta grande diferença é a quantidade de vazios que existem nessas escórias.

As escórias com menor resistência podem ser identificadas também pela coloração. Os exemplares que possuem um alto teor de vazios possuem coloração esverdeada mais clara em relação às vítreas. Porém, em um único exemplar é possível encontrar diversos tipos de características diferentes, deixando explícita a heterogeneidade da escória, conforme a figura 7:

Figura 7: Partes da escória com diferentes índices de vazios.



(Fonte: Acervo Pessoal).

Nos corpos-de-prova foi possível observar que são essas escórias mais claras que romperam junto com o concreto. Também foi observado que as escórias mais escuras não sofreram a ação da compressão, o que abre outra hipótese, a de que se forem usadas apenas escórias mais escuras, a resistência mecânica à

compressão pode se tornar ainda maior. Estas observações podem ser visualizadas na figura 8:

Figura 8: Corpo-de-prova após rompimento.



(Fonte: Acervo pessoal).

#### 8.4 Considerações finais

O concreto mostrou ser uma boa alternativa ao mercado atual, assegurando um bom preço, massa específica otimizada e resistência mecânica suficiente para aplicação em estruturas de pequeno porte. Porém para aplicação em estruturas seria interessante um estudo mais específico sobre os materiais que compõem a escória. Pelo fato de ser um material retirado na produção do ferro fundido, há a possibilidade de reação com a armadura do concreto armado, uma vez que o aço possui a fórmula bem parecida com o ferro fundido. Mas o principal motivo no qual não seria interessante a aplicação da escória em concreto armado é que em alguns exemplares de escória é possível encontrar uma pequena parcela de material ferroso encrustado, como mostra a figura 9:

Figura 9: Amostra de escória com material ferroso encrustado.



(Fonte: Acervo pessoal).

Todavia, a escória é um material bastante empregado na fabricação do cimento, sendo assim, ainda há uma grande probabilidade de possibilidade do emprego da escória em estruturas.

A eficácia do experimento provou que o concreto pode ser utilizado em concretos estruturais não armados, como por exemplo, blocos de fundação ou alguns tipos de estacas. Uma possível utilização também é obras de contenção em geral, como muros de arrimo. No muro de arrimo este material seria bem aproveitado no concreto utilizado para enchimento dos blocos, processo que demanda de um alto volume de concreto e não possui aço envolvido.

## 9 CONCLUSÃO

Com a crescente expansão da raça humana e necessidade de moradia, cada vez mais exigente, os materiais de construção acompanham esse crescimento. E com esse crescimento, o mercado está sempre com a demanda de novos materiais que possam agregar algum tipo de valor à esses materiais. Seja econômico, prático ou sustentável, esse valor deve ser bem aproveitado para a melhor relação homem x natureza possível.

Pesquisas em relação ao meio ambiente também se encontram em alta, principalmente pelo fato da atual percepção que todos os elementos tirados na natureza podem um dia se esgotar. Com mais de 7 bilhões de pessoas no mundo, essa percepção, ainda que tardia, deve ser aproveitada para que tudo ao redor possa ser melhorado ou preservado.

A exigência aumenta no que tange à qualidade de vida da população, formado por pessoas que não querem mais se submeter à casas inseguras e que permitem uma baixa qualidade de vida. Na realidade brasileira, atualmente pessoas com baixo poder aquisitivo podem adquirir casas com qualidade e é o papel dos engenheiros e pesquisadores fazer com que isso seja possível.

Ao contrário do que era há 60 anos, a construção hoje é calculada e analisada para melhor atender à demanda do mercado.

Estes e outros argumentos motivaram esta pesquisa, que visa melhorar entre outras questões, a interação entre o homem e o meio em que vive. Quando se pensa em economizar recursos naturais, as atenções são automaticamente arremetidas ao petróleo e água. Ao contrário do petróleo e da água, as rochas estão sempre sendo modificadas pela ação do tempo e sendo criadas através de atividades sísmicas ao redor da superfície do planeta. Todavia, o tipo de rocha formada geralmente, devido às suas características, não pode ser utilizada neste tipo de construção. As rochas usadas em construções são rochas metamórficas, que assim como o petróleo, demandam de eras geológicas para serem formadas.

O fator financeiro é outro de peso no momento de escolha do material a ser empregado na obra. Talvez o fator com maior peso atualmente considerado. O fator preço é importante em todos os seguimentos da engenharia. No mundo capitalista, aquele que consegue um melhor fator preço x qualidade tem sempre a grande vantagem no mercado da construção. Seja para obras civis particulares ou públicas,

o preço interfere diretamente na aceitabilidade do produto. No caso de obras públicas, isso é explícito às licitações, processo utilizado pelos governos para contratar serviços ao menor custo possível de execução de um determinado serviço à uma qualidade aceitável.

Sendo assim estudos que visam diminuir o custo final da obra devem ser sempre valorizados e fomentados.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-prova**. Rio de Janeiro. 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004. 221 p.

CASPERS, K.H. Fusão de ferro fundido sintético em forno cubilô. **Revista Fundação e Serviços**, São Paulo, Março, 1999, p.34 – 44.

GIDLEY, J. S.; SACK, W.A. Environmental Aspects of Waste Utilization in Construction. **Journal of Environmental Engineering**, Los Angeles, v. 110, n.6., p.1117-1133, Dez. 1984

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Infográficos: Dados Gerais do Município**. Disponível em: <>  
<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=311660&search=inas-gerais%7Cclaudio%7Cinfograficos:-dados-gerais-do-municipio>. Acesso em Abril, 2014

LEITE, M.B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu te Amo Vol. 1**. 6ª ed. Blucher. São Paulo, 2010.

MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu te Amo Vol. 2**. 3ª ed. Blucher. São Paulo, 2011.

PAGNUSSAT, D.T. **Utilização de Escória Granulada de Fundação (EGF) em Blocos de Concreto para Pavimentação**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RESCHKE, J.S. **Escória Granulada de Fundação Utilizada como Substituição ao Cimento em Concreto: Avaliação de propriedades relacionadas com a durabilidade**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003

SANTOS, R. E. A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído. In: **Anais do IV Congresso Brasileiro de História da Educação**. Goiânia: Universidade Católica de Goiânia, 2006. Disponível em:<>

[http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05\\_biblioteca/acervo/santos\\_cultura/santos\\_cultura.htm](http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05_biblioteca/acervo/santos_cultura/santos_cultura.htm)

SHEN, L.Y.; TAM, V.W.Y. Implementation of Environmental Management in the Hong Kong Construction Industry. **International Journal of Project Management**, Guildford, v.20, n.7, p.535-543, Out. 2002.

SILVA, S.N.; SILVA, A.S.; FRANKLIN, F.; LOMGO, E.; ANDRADE, R.M. Reciclagem da areia de fundição nos canais de corrida dos alto-fornos da CSN. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 30., 1999, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte, MG/Brasil: ABMM, 1999. P. 609-623.

SOUZA, M.P. **Instrumentos de Gestão Ambiental**: Fundamentos e prática. São Carlos, SP: Riani Costa, 2000. 108 p.

STROUP, W.W.; STROUP, R.D.; FALLIN, J.H. Cupola slag cement mixture and methods of making and using the same. United States Patent 6,521,039, USPTO Patent Full-Text and Image Database. Publicado em 18 fev. 2003. Disponível em: <<http://patft.uspto.gov/netacgi>>

TSUCHIYA, O.Y.; VALVERDE, F.M. Visão da mineração de agregados no Brasil: diagnóstico, tendências e desafios. In: ANEPAC – Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. **Anais**. São Paulo, SP/Brasil. Disponível em: <> <http://www.anepac.org.br>. Acesso em Fev.2014.