

## HABITAÇÕES SUSTENTÁVEIS CONSTRUÍDAS A PARTIR DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA

*SUSTAINABLE HOUSING BUILT FROM CONSTRUCTIVE ELEMENTS PRODUCED  
WITH WASTE STEEL SLAG*

Viviane de Jesus Gomes (1), Tatiana Nunes Oliveira (2), Sandro de Oliveira Almada (3),  
Ricardo André Fiorotti Peixoto (4), Barbara Ponciano (5), Diego Haltier dos Santos(6).

(1) Professora Mestre em Engenharia Civil, Universidade do Estado de Minas Gerais-MG

(2) Mestre, Departamento de Engenharia Civil do CEFET-MG

(3) Mestrando, Departamento de Engenharia Civil do CEFET-MG

(4) Professor Doutor, Universidade Federal de Ouro Preto-MG

(5) Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto-MG

(6) Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto-MG

Caixa Postal 81 - CEP.35400-000 - Ouro Preto - Minas Gerais. gomesvivi@yahoo.com.br

### Resumo

As questões de déficit habitacional, impactos ambientais e extração desordenada de recursos naturais se tornaram um grave problema urbano que mobiliza toda a sociedade. O aproveitamento dos resíduos industriais (escória de aciaria) na construção civil promove a diminuição da demanda de recursos naturais utilizados como agregados em misturas cimentícias e contribui com a diminuição dos impactos ambientais causados pelos rejeitos da indústria siderúrgica. Este trabalho estuda a proposta de habitações sustentáveis construídas através da utilização de resíduos da indústria siderúrgica como agregado para concreto estrutural em substituição ao agregado natural, contribuindo com a sustentabilidade do ambiente construído. Os resultados apontam o potencial de implementação das habitações sustentáveis produzidas com o material reciclado permitindo a redução de impactos ambientais na extração de recursos naturais utilizados na construção civil, na diminuição de impactos provenientes da disposição de resíduos industriais (escória de aciaria) e na produção de elementos construtivos com custo reduzido possibilitando o acesso a diversas classes sociais.

*Palavras-chave: concreto, elementos construtivos, déficit habitacional, escória de aciaria, habitações sustentáveis.*

### Abstract

The issues of housing shortage, environmental and natural resource extraction disorderly become a serious urban problem that mobilizes the entire society. The use of industrial waste (steel slag) in construction promotes a decrease in demand for natural resources used as aggregates in cementitious mixtures, and contributes to a reduction of environmental impacts caused by waste from the steel industry. This paper studies the proposal to build sustainable housing through the use of the steel industry waste as aggregate for concrete structures to replace natural aggregate, contributing to the sustainability of the built environment. The results indicate the potential for implementation of sustainable housing produced with recycled materials allowing the reduction of environmental impacts in the extraction of natural resources used in construction, the reduction of impacts from the disposal of industrial waste (steel slag) and the production of constructive elements enabling access to various social classes.

*Keywords: concrete, construction elements, housing deficit, steel slag, sustainable housing.*

## 1 Introdução

O Brasil representa um importante pólo de atração de negócios no campo da siderurgia. De acordo com o Instituto Brasileiro de Siderurgia (2008), o país obteve uma produção recorde de 3,2 milhões de toneladas de aço bruto no ano de 2008, enquanto se observa uma crescente demanda da produção do aço nas siderúrgicas nacionais. John (2000) afirma que a indústria da construção civil é responsável por 50% do consumo dos recursos naturais do planeta. Segundo Peixoto *et al.* (2007), o consumo brasileiro de agregados para concreto e argamassa é em torno de 210 milhões de toneladas por ano enquanto são geradas cerca de 3,7 milhões de toneladas de escória de aciaria por ano, o aumento na geração de resíduos e a busca de soluções para seu acondicionamento e manejo ambiental adequados se tornam cada vez mais evidentes.

Devido ao crescente controle ambiental, os agregados naturais necessários na indústria da construção civil se tornam cada vez mais escassos. Conseqüentemente o valor do produto final se torna cada vez maior atingindo principalmente as classes sociais C e D desencadeando um aumento no déficit habitacional.

O reaproveitamento de resíduos da siderurgia na indústria da construção civil surge como um ponto favorável à sustentabilidade e uma alternativa à diminuição da degradação ambiental. Segundo Hendriks (2007), a aplicação de resíduos na construção civil é um fato consagrado, tendo em vista as tendências de sustentabilidade implantadas mundialmente. Isto implica na diminuição do consumo de agregados naturais, reciclagem e reaproveitamento dos resíduos industriais, otimização de processos industriais e operacionais, além da diminuição do consumo de energia utilizada e de emissão de CO<sub>2</sub> no processo da construção civil.

## 2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é o estudo de uma proposta de habitações sustentáveis edificadas através da utilização de resíduos da indústria siderúrgica como agregado para concreto estrutural em substituição ao agregado natural, contribuindo com a sustentabilidade do ambiente construído, desempenho e diminuição dos custos deste tipo de empreendimento.

## 3 Materiais e métodos

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Escória de aciaria

A indústria siderúrgica de aciaria gera resíduos (escória) em seu processo produtivo onde cerca de 40% possui resíduos metálicos e 60% não possui resíduos metálicos. Este resíduo é transportado para segregação primária onde ocorre a retirada de elementos metálicos com diâmetro superior a 25mm que retornam para o processo siderúrgico. O restante é descartado pela siderúrgica como rejeito. Posteriormente o resíduo de aciaria passa por um processamento especializado que visa à separação das partes metálicas

restantes no material. Este processamento consiste em armazenamento do material em um silo próprio; no peneiramento em grade para separação e retirada da fração metálica presente no material; na britagem e secagem até se obter uma granulometria favorável à separação da fração metálica através de peneiramento e na separação magnética através de esteiras rolantes seguido de peneiramento.

Toda a fração metálica retirada do material retorna à indústria siderúrgica. A fração não metálica é encaminhada para laboratório do Grupo de Pesquisa RECICLOS - UFOP/MG, onde é graduada segundo faixas granulométricas de interesse e são feitos estudos para sua utilização em pavimentos, argamassas, como agregados em misturas cimentícias, dentre outros através de ensaios e protótipos o que garante a sustentabilidade do processo especializado de pós-processamento (Figura 1).

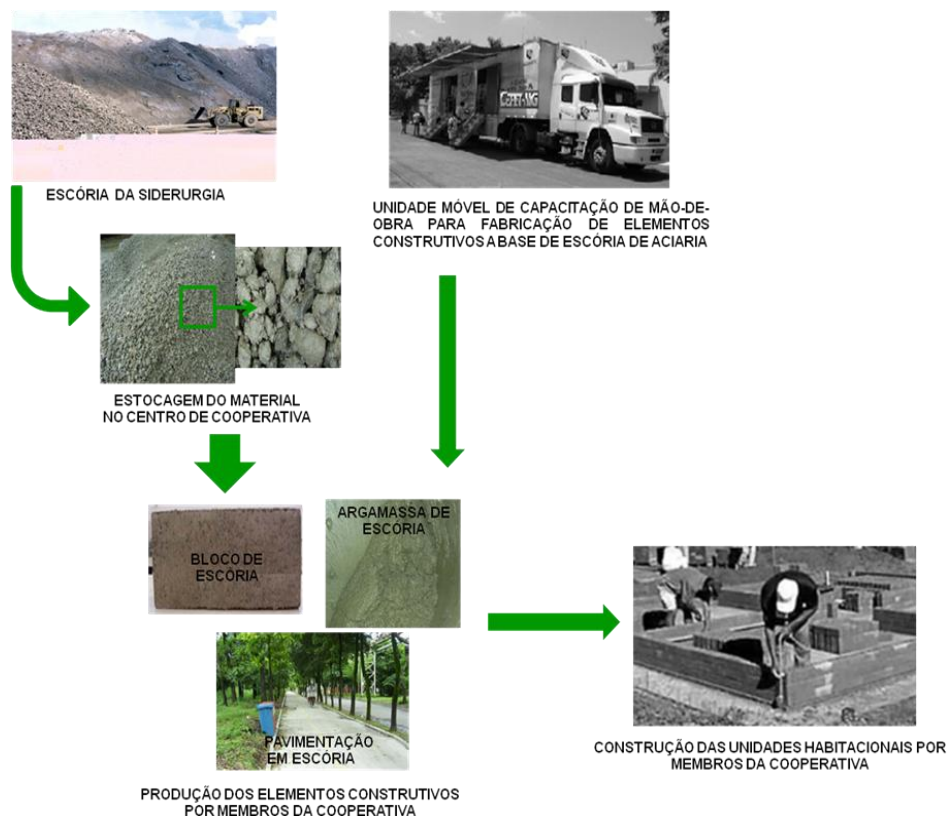


Figura 1 – Organograma do Processo.

Identificadas às necessidades de projeto, foram processados resultados segundo pelo *software* especialista para dosagem de misturas cimentícias para dimensionamento do traço experimental (SOARES e PEIXOTO, 2009). Foram produzidas misturas cimentícias contendo agregados artificiais de escória de aciaria, obtidas em processamento especializado, externo a unidade siderúrgica geradora.

A escória utilizada na produção do protótipo foi estabilizada e inertizada para neutralizar os efeitos expansivos principalmente do óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO). Após processo de inertização e estabilização, a escória de aciaria passou por segregação em sistema de pós-processamento, onde foram sequestradas as frações metálicas granulares existentes na massa inerte. Com o pós-processamento especializado, é produzido material em potencial para aplicação como agregados na produção de matrizes cimentícias.

Utilizaram-se, no processo, duas faixas granulométricas da escória. Em substituição ao agregado miúdo utilizada para concretos estruturais e outras faixas, em substituição ao agregado graúdo.

Para promover comportamento adequado às solicitações de serviço na armação, foram utilizadas telas galvanizadas com fios de aço com diâmetro 0,5mm e malha 3cm, as quais pudessem se aproximar das armaduras utilizadas em peças de concreto estrutural, para reação às solicitações de serviço segundo escala utilizada (Figura 2).

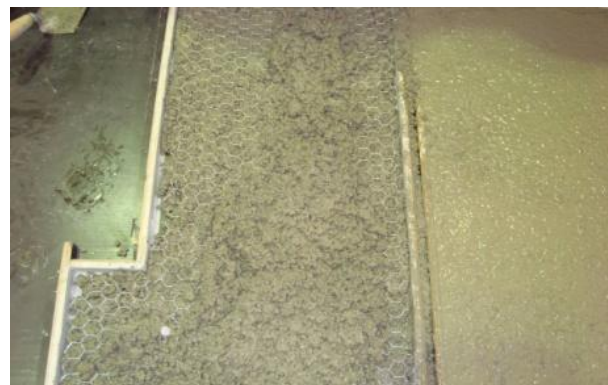
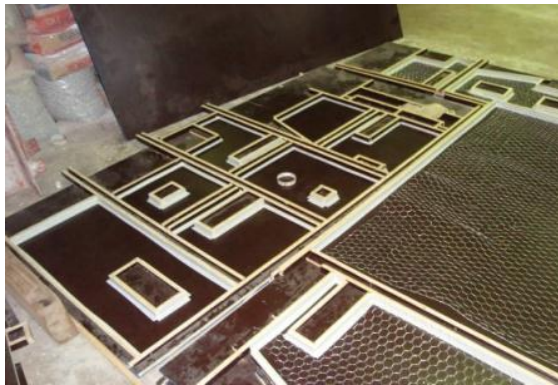


Figura 2 – Produção do protótipo habitacional.

Quanto ao aglomerante hidráulico utilizou-se cimento tipo CPV-ARI RS, afim de que as operações de concretagem, desforma e montagem pudessem ser processadas nos menores tempos possíveis.

A utilização de escória de aciaria como material de construção, principalmente como material inerte na produção de matrizes cimentícias (PEIXOTO, 2009), vem sendo estudado por vários centros de pesquisa no país, devido a sua importância. Sendo assim, para formulação de um concreto com a trabalhabilidade e a resistência à compressão necessária, foi executada série de ensaios laboratoriais da escória.

## 3.2 Métodos - Ensaios laboratoriais da escória de aciaria

### 3.2.1 Teor de umidade

As amostras são analisadas segundo NBR 9939/87. A determinação do teor de umidade para amostras servirá como parâmetro para estabelecimento e fixação dos fatores água/cimento (a/c) necessário para produção do concreto.

### 3.2.2 Teor de Metálicos

Para verificação da porcentagem de material metálico existente na escória. A amostra foi quarteada, seca em estufa 105°C, pesada, e passada três vezes por cone magnético. O cone retém a fração metálica existente na amostra. A cada passada foi efetuada a retirada a fração metálica residual no interior do cone. A identificação do percentual metálico retido no processo magnético é obtida por processo gravimétrico em via úmida. Representa-se a fração metálica em porcentagem. O teor para utilização em concretos para a construção civil e pesada não deve exceder os 5% de metálicos.

### 3.2.3 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado conforme a prescrição normativa ABNT NBR-7217/87 que consiste em classificar os agregados quanto à suas dimensões. Foi utilizado um conjunto de peneiras sucessivas da série normal e da série intermediária ilustradas na figura 3.



Figura 3: Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria

### 3.2.4 Massa unitária

A determinação da massa unitária foi realizada de acordo com prescrições da ABNT NBR 7251/82 onde o resultado é expresso pela razão do peso pelo volume da amostra, dado em  $\text{Kg}/\text{dm}^3$  (Figura 4).



Figura 4: Ensaio de massa específica - agregados miúdos e graúdos.

### 3.2.5 Massa específica

O ensaio de massa específica para agregado miúdo se deu segundo normatização ABNT NBR 9776/87 realizado utilizando o frasco de Chapman e o ensaio de massa específica referente aos agregados graúdos foi realizado segundo a ABNT NBR 9937/87 (Figura 5).



Figura 5: Ensaio de massa específica - agregados miúdos e graúdos.

### 3.2.6 Produção das misturas para moldagem dos elementos de concreto

O protótipo foi executado a partir do dimensionamento de dosagens segundo metodologia ABCP, IPT e GILDÁSIO (1974), com auxílio do *Software* Especialista para Dosagem de Misturas Cimentícias SEDMC (2010). Os traços produzidos com agregados de escória de aciaria foram produzidos sem inserção de aditivos químicos.

Para a obtenção de um traço de concreto de escória de aciaria que apresentasse um comportamento satisfatório tanto para moldagem do protótipo quanto às solicitações

usuais de serviço, transporte e montagem, foi produzido um traço base (1 : 1,9 : 2,79), fator água cimento (a/c) 0,43. Após a etapa de produção do traço de concreto, foram moldados corpos de prova, que permaneceram em câmara úmida por períodos pré-determinados de 7, 14, 21, 28.

#### 4 Resultados e discussão

Após o estudo de viabilidade de aplicação da escória de aciaria em elementos construtivos na construção civil o resíduo está sendo utilizado como matéria prima na construção de unidades habitacionais, através do projeto Vila Sustentável, em andamento na cidade de Itaúna-MG, realizou-se portanto, análises em protótipo antes da construção das casas em escala real (OLIVEIRA *et al*, 2010 b; PEIXOTO *et al*, 2010; RESENDE *et al*, 2010).

Como alternativa para execução do projeto procurou-se desenvolver proposta que privilegiasse aspectos relacionados a sustentabilidade, iluminação, ventilação, racionalização de processos construtivos, redução da geração de resíduos de construção (GOMES, 2010; OLIVEIRA *et al*, 2010 b ). Essas ações procuraram criar condições de habitabilidade e condicionamento favoráveis. As figuras 6 e 7 apresentadas a seguir ilustram a divisão arquitetônica do protótipo e alternativas que contemplam conceitos de sustentabilidade, como o estabelecimento da cumeeira Leste/Oeste (PEIXOTO, 2004).

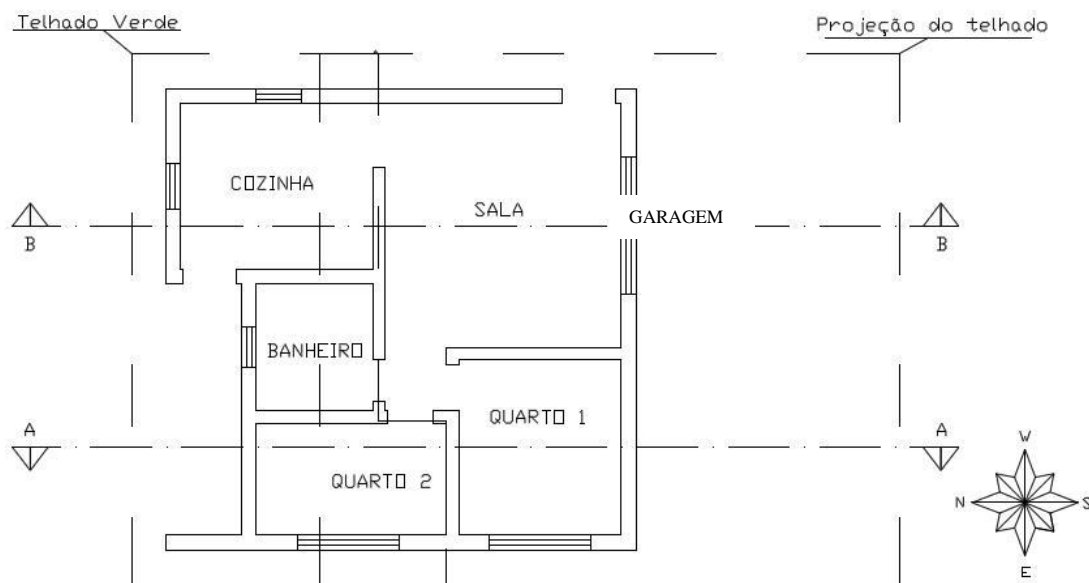


Figura 6: Planta da unidade habitacional.

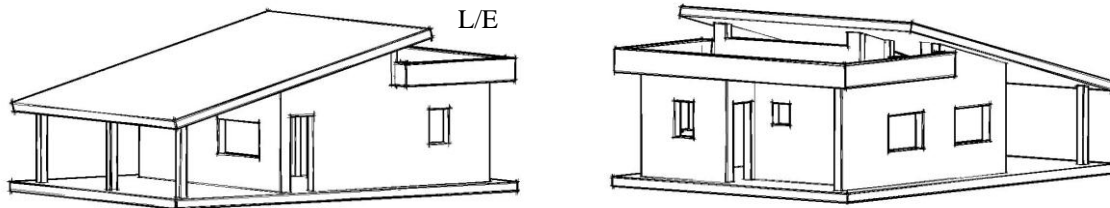


Figura 7: Perspectiva do protótipo da unidade habitacional.

O protótipo foi construído em escala reduzida (1:7,5) e fabricado por processo de pre-moldagem e montagem das peças (Figura 8). O molde foi produzido em escala reduzida utilizando chapas de madeira industrializada resinada. As dimensões das peças em concreto variaram respeitando a escala de projeto para que fosse mantida a proporção. As placas foram desformadas com 7 dias para montagem. Utilizou-se como armadura, tela galvanizada com fios de aço com diâmetro 0,5mm e malha 3cm, para fornecer às peças resistência para esforços de serviço e utilização.



Figura 8 – Protótipo habitacional.

Após a aplicação e análise da tecnologia de construção de unidades habitacionais em escala produzidas com resíduos de escória de aciaria verificou a potencialidade do uso dos agregados artificiais na substituição parcial ou integral dos agregados naturais utilizados em misturas cimentícias aplicados para a construção civil (OLIVEIRA *et al*, 2010 a; PEIXOTO *et al*, 2007; PEIXOTO *et al*, 2009).

Comparando a utilização de agregados naturais usuais e escória de aciaria observa-se a capacidade da escória de aciaria substituir integralmente os agregados convencionais nas misturas cimentícias na construção civil. Possibilitando um bom comportamento mecânico, maior resistência à compressão simples, superfícies mais homogêneas e menos porosas e comportamento não expansivo em condições de submersão para o



período experimental de 56 dias (OLIVEIRA *et al*, 2010; PEIXOTO *et al*, 2007; PEIXOTO *et al*, 2009).

## 5 Conclusão

A presença de empresas de siderurgia em várias cidades do mundo permite que o principal elemento deste processo se torne de fácil acesso ao uso na construção civil. Assim a utilização de resíduos como alternativa à substituição dos agregados naturais, para produção de matrizes cimentícias representa de acordo com condições experimentais estabelecidas neste projeto ganho tecnológico e produtivo, e que, associado a processos racionalizados podem contribuir significativamente para a redução dos custos na construção, vantagem econômica que pode ocorrer em aumento da qualidade para a habitação de interesse social.

As unidades habitacionais podem ser implantadas em qualquer parte do mundo podendo ser utilizadas para minimizar as questões de déficit habitacional, extração de recursos naturais e impactos ambientais provenientes resíduos sólidos industriais (escória de aciaria).

## 6 Agradecimentos

Grupo de Pesquisa RECICLOS – UFOP, CNPQ, FAPEMIG

## 7 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7217 – **Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7251 – **Agregados em estado solto: determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9937 – **Agregados: determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

GOMES, V, J. **Aplicação de parâmetros de ITGU e CTR para avaliação de conforto**

**térmico em edifício escolar.** Dissertação (Mestrado em Engenharia em Engenharia Civil) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. 2010.

HENDRIKS, Ch. F.; NIJKERK, A, A.; VAN KOPPEN, A, E.; **O ciclo da construção.** Fundação Universidade de Brasília, Editora UnB, Brasília, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **(IBS).** Disponível em <<http://www.ibs.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em Janeiro de 2008.

JOHN, V. M.; **Reciclagem de resíduos na construção civil.** Tese Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

OLIVEIRA, T. N. *et al.* **Comportamento de blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para alvenarias.** I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador. Bahia. 2010 (a).

OLIVEIRA, T. N. *et al.* **Implantação de uma Vila Sustentável.** In: 54º IFHP Word Congress. Porto Alegre. RS. 2010 (b).

PEIXOTO, R. A. F. **Desenvolvimento de placas de concreto leve de argila expandida aplicadas a coberturas de instalações para produção animal.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2004.

PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti; PADULA, Flávio Renato Góes; KAMADA, Cristiane Eiko; FRANÇA, Marcela Bruna. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para utilização de escória de aciaria na fabricação de blocos de concreto para alvenarias.** In: 3º CONGRESSO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 2007.

PEIXOTO, R.A.F.; OLIVEIRA, J.R.; SILVA, K,A; MARTINS, C.J.; MAIA, N.S.; **Utilização de escória de aciaria na produção de blocos de concreto para alvenaria em obras de arte corrente de engenharia.** Relatório Técnico Reciclos- Cnpq, 2009.

PEIXOTO, R.A.F. *et al.* **Analysis for application of steel slag in the production of concrete block paving.** In: 54th IFHP World Congress. Porto Alegre.RS. 2010.

RESENDE, H. O *et al.* **Alternativa sustentável ao processo construtivo de habitações de interesse social a partir da aplicação de escória de aciaria como agregados.** In: 54º IFHP Word Congress. Porto Alegre. RS. 2010.

SILVA, GILDÁSIO. R. **Manual de traços de concreto.** 3ª ed. Ed. Livraria Nobel, SP, 1974.

SEDMC. SOARES, A. F. F.; PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti. **Software Especialista para Dosagem de Misturas Cimentícias SEDMC.** 2010.