



## CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA PARA APROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**Laura Marques de Marques<sup>1</sup>; Rodrigo Beck Saldanha<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> PPGEC/ UFRGS (laumarq@gmail.com)

<sup>2</sup> PPGEC/ UFRGS (becksaldanha@yahoo.com.br)

### Resumo

As indústrias siderúrgicas geram diversos tipos de resíduos. Um deles, conhecido como “fluff”, provém do processo de Trituração de sucata, que, após o aproveitamento de aço e ferro, gera resíduos hoje não aproveitados. Atualmente, o “fluff” é depositado em aterros industriais, em volumes vultuosos, o que gera grande preocupação ambiental. O objetivo deste trabalho foi realizar a segregação e a caracterização do resíduo – “fluff”, de forma a subsidiar futuras pesquisas, com vistas à utilização do mesmo como agregado para argamassa na construção civil. Para tanto, foi realizada caracterização física e química do resíduo, as quais foram comparadas com caracterizações feitas com areia. Constatou-se que o resíduo analisado possui potencial para ser usado como agregado para argamassa e concreto, com ressalvas à possível modificação na demanda por água, aos resultados de impureza para compostos orgânicos em agregados miúdos melhores para o passante na peneira #1,18 mm do que no passante na peneira 2,36mm, e para a possível variabilidade na composição do resíduo, com relação à época e local de coleta.

Palavras-chave: fluff, caracterização resíduo, construção civil.

Área Temática: Resíduos Sólidos

## Characterization of Waste of steel for use in the construction

### Abstract

*The steel industries generate different types of waste. One of them, known as "fluff", comes from the process of grinding scrap, that after the use of steel and iron, generates waste untapped today. Currently, the "fluff" is deposited in landfills in volumes significance, which creates major environmental concern. The aim of this work was the characterization and segregation of waste - "fluff" in order to support future research, with a view to its use as aggregate for mortar in construction. Therefore, it was held physical and chemical characterization of the residue, which were compared with characterizations made with sand. It was found that the residue analyzed has the potential to be used as aggregate for concrete and mortar, with the possible exceptions change in demand for water, the impurity results for organic compounds in aggregates better for passing the sieve #1.18 mm than passing on sieve 2.36 mm, and the potential variability in the composition of the residue with respect to the time and place of collection.*

Key words: fluff, waste characterization, construction.

Theme Area: Solid waste.



## 1 Introdução

A preocupação com os usos dos recursos naturais de forma indiscriminada e insustentável têm levado à busca por alternativas de crescimento mais equilibrado com o meio ambiente. Dentro desta visão de sustentabilidade, a reciclagem e/ou reuso de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima, e pela redução das áreas de disposição final destes resíduos.

Resíduos são todos os produtos gerados dentro do processo de produção ou consumo de um outro produto, independente do seu valor comercial (JOHN, 1996), portanto, os resíduos são gerados praticamente em todas as atividades econômicas existentes. Neste contexto, a construção civil é um setor promissor para a reciclagem de resíduos. Isto se deve a uma série de

fatores, entre eles o alto déficit habitacional existente no país e o elevado custo dos materiais tradicionais que, muitas vezes, inviabilizam a sua utilização por uma grande parcela da população. Outro fator é o aumento da demanda de materiais para a construção civil, podendo levar à escassez de alguns insumos e à elevação do preço dos mesmos. Além disso, em alguns casos, a adição de determinados resíduos pode melhorar a qualidade do material de construção (MASUERO, 1998).

Um grande gerador de resíduos são as siderúrgicas, que, no processo de produção do aço, acabam gerando diversos resíduos, tais como escória, carepas, pós de aciaria, além de lodos de estação de tratamento de efluentes e resíduos dos triturados de sucata. As usinas semi-integradas<sup>1</sup> têm como matérias-primas básicas a sucata, utilizando energia elétrica no processo de fusão. As siderúrgicas semi-integradas que utilizam aciaria elétrica precisam de 1.130 kg de sucata para produzir 1.000 kg de aço bruto (CIUCCIO, 2004). Em 2009, o setor siderúrgico brasileiro gerou cerca de 25 milhões de toneladas de resíduos e co-produtos, o que representa 640 kg/t de aço produzido (IBS, 2010).

A maior fonte desta sucata é o automóvel obsoleto. O triturador de sucata (“shredder”) tem a função de triturar a sucata e separar a fração metálica ferrosa. Porém, o processo recebe também outros itens, como geladeiras, aparelhos de ar condicionado, lavadoras, entre outros. Para cada tonelada de material metálico separado pelos “shredders”, aproximadamente 227 kg de resíduos são produzidos (HOFFMAN, 1993).

Com o processo de Trituração da sucata proveniente de pós-consumo (sucata de obsolescência), toneladas de aço e ferro são recuperados, evitando o consumo de matérias-primas como minério de ferro e carvão, importantes recursos naturais não renováveis. Porém, o processo gera resíduos não aproveitados, principalmente de vidro, plásticos, tecidos, madeira, borracha e óxidos metálicos. O destino de grande parte desses resíduos (fluff) ainda é o aterro industrial, sendo a reciclagem e/ou reuso do resíduo do “shredder” um dos grandes desafios do setor. Essa abordagem é importante tanto por questões ambientais, como econômicas (MORIOKA et al, 2005; BOUGHTON & HORVATH, 2006).

Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar a segregação e a caracterização do resíduo do triturador de sucata, visando a sua utilização como agregado para argamassa na construção civil.

## 2 Materiais e Métodos

A metodologia empregada no presente trabalho foi dividida nas seguintes etapas: caracterização química e caracterização física do resíduo.

O resíduo estudado foi proveniente de uma empresa siderúrgica da região do Vale dos Sinos, RS, e é oriundo do triturador de sucata. Atualmente, são processados 18.128 t/mês de sucata, gerando uma quantidade de 4.422 t/mês de resíduos.

Como agregado miúdo natural, foi utilizada areia quartzosa, cuja procedência é o Rio



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Jacuí/RS.

Foram estudadas duas frações granulométricas do resíduo de material passante na peneira de #2,36 mm e material passante na peneira de #1,18 mm, na determinação da fração com melhor potencialidade de uso como agregado.

### 2.1 Caracterização Física

Para a determinação de possível utilização do fluff como agregado na produção de argamassa ou concreto, foi determinada a sua granulometria, conforme NBR NM 248 (2001) e granulometria a laser para os finos ( $<0,15$  mm). A característica granulométrica do resíduo foi comparada com a faixa ideal de uso de agregados na construção civil (NBR 7211:2005).

Conforme estudo anterior (RECKZIEGUEL, 2011), o resíduo gerado pelo moedor de sucata de fração maior que #2,0 mm é rica em materiais poliméricos e com valores de carbono em torno de 40%, podendo ter aproveitamento energético. Portanto, esta granulometria foi a norteadora para a determinação da fração analisada, sendo a fração passante na peneira de abertura de #2,36 mm e passante na abertura de #1,18 mm usada na caracterização do resíduo para o presente estudo. A determinação das características destas frações é importante para modelagem em laboratório de corpos-de-prova para trabalhos futuros.

Na determinação da massa específica do resíduo e da areia foram utilizadas a NBR 6508 (1984) e NBR NM 52 (2009), respectivamente.

### 2.2 Caracterização Química

Na caracterização química do resíduo, foi realizado ensaio elementar em laboratório (LACER-UFRGS) para a verificação da sua composição química e análise de perda ao fogo na determinação de matéria orgânica. Este ensaio foi realizado na fração passante na peneira de #2,36mm e para o passante na peneira #1,18 mm.

Para a determinação da qualidade do agregado quanto à matéria orgânica, foi utilizada a NBR NM 49 (2001), que determina visualmente (coloração) a qualidade do agregado em função da presença de matéria orgânica. Este ensaio foi realizado na fração passante na peneira de #2,36mm e para o passante na peneira #1,18 mm.

## 3 Resultados e Discussão

Em trabalho realizado por Reckzieguel (2011), com o resíduo de mesma procedência foi constatado potencial calorífico para a fração do resíduo maior do que #2 mm. Portanto, a fração menor do que #2 mm foi estabelecida como foco deste trabalho para sua utilização como agregado na produção de concreto e/ou argamassa.

O fluff com fração menor que #2 mm apresenta aspecto terroso parecido com solo, tendo características predominantes inorgânicas e com compostos cristalinos, como: quartzo, plagioclásio, calcita, dolomita, hematita, magnetita e feldspato (RECKZIEGUEL, 2011).

### 3.1 Granulometria e Módulo de Finura

Os resultados das composições granulométricas do resíduo (fluff) e do agregado natural (areia) foram comparados com os limites (inferior e superior) estabelecidos pela NBR 7211 (2005) (fig. 1), assim como o módulo de finura (tabela 1).



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Figura 1 Distribuição Granulométrica e limites estabelecidos.

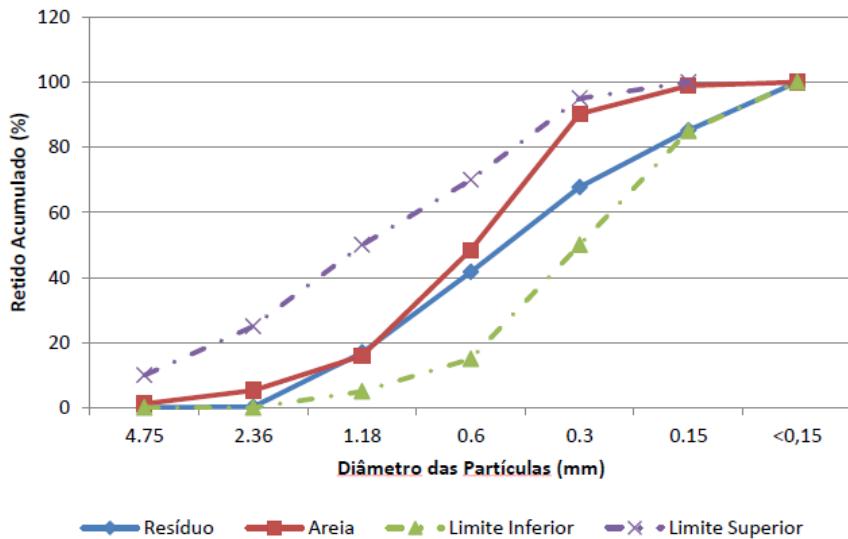


Tabela 1 Módulo de finura dos materiais analisados e limites estabelecidos pela NBR 7211:2005

Material analisado	Modulo de Finura	Limite superior	Limite inferior
Resíduo	2,12	2,90 a 3,50	1,55 a 2,20
Areia	2,60		

O resíduo analisado possui característica granulométrica e módulo de finura compatíveis com os limites estabelecidos em norma para agregados miúdos (NBR 7211:2005), entretanto, em comparação a areia, o módulo de finura do resíduo é menor. Este fato se deve a uma maior quantidade de finos presentes no fluff, que corresponde, aproximadamente, a 15% do material passante na peneira de #0,15 mm, enquanto que o agregado natural possui valores menores do que 1,5% de material passante (tabela 2).

Tabela 2 Granulometria dos materiais analisados

Peneira (mm)	Resíduo Fluff		Agregado miúdo natural	
	Retida (%)	Retido Acumulado (%)	Retida (%)	Retido Acumulado (%)
4,75	0,1	0,10	1,2	1,23
2,36	0,1	0,24	4,1	5,33
1,18	16,7	16,94	10,6	15,95
0,6	24,8	41,70	32,5	48,43
0,3	26,1	67,76	41,8	90,27
0,15	17,4	85,20	8,6	98,90
< 0,15	14,8	100	1,1	100
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	-	<b>100</b>	

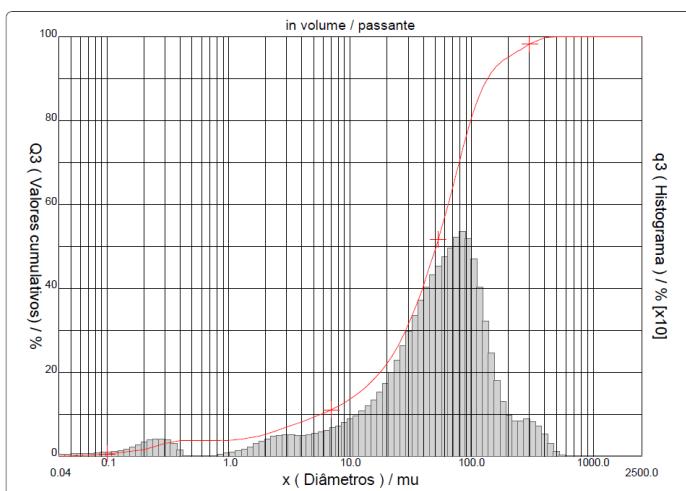
A presença da maior quantidade de finos no resíduo usado como agregado em relação ao agregado natural vai influenciar na quantidade de água, portanto, o resíduo, por apresentar menor módulo de finura, irá demandar uma maior quantidade de água para o amassamento. Além disso, vai aumentar a demanda de cimento, para que seja mantida a mesma relação água/cimento na mistura. De acordo com NEVILLE (1997), a composição granulométrica



exerce grande influência sobre a área superficial do agregado, fator determinante na quantidade de água necessária para a molhagem completa dos sólidos da mistura, que altera o volume relativo ocupado pelo agregado, a trabalhabilidade da mistura, e a segregação. Entretanto, este material fino pode agir como filer, diâmetros compreendidos entre 5 a 75 micrômetros (PETRUCCI, 1993), que, devido as suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto (NEVILLE, 1997).

Através da granulometria a laser (fig. 2), foi possível identificar que o diâmetro médio do resíduo passante na peneira de #0,15 mm é de 66,9 micrômetros, o que pode contribuir, principalmente, para o preenchimento dos vazios deixados pelas descontinuidades da curva granulométrica do agregado.

Figura 2 Granulometria a laser do resíduo.



### 3.2 Massa Específica

A massa específica também é um fator importante na proposta de substituição do agregado natural pelo resíduo, principalmente na questão de dosagem de substituição destes materiais nas misturas de argamassa e concreto. No processo de determinação deste parâmetro, foi utilizada a NBR NM 52 (2009), que apresentou resultado satisfatório para o agregado natural, mas não apresentou-os para a determinação da massa específica do resíduo, devido à perda de massa de finos durante o ensaio. Portanto, a técnica descrita nesta norma (NBR NM 52:2009) não foi compatível com as características do resíduo. Para contornar este problema, foi utilizado ensaio em picnômetro (NBR 6508:1984), para a determinação da massa específica do fluff, o qual mostrou ser uma técnica viável na determinação deste parâmetro.

A Tabela 3 apresenta os resultados da massa específica, tanto para o agregado natural, quanto para o resíduo, nas diferentes frações granulométricas. Os resultados entre as diferentes frações (menor do que #2,36 mm e menor do que #1,18 mm) não foram significativos.

Tabela 3-Resultado da massa específica para resíduo e agregado natural

Material analisado	Fração granulométrica	Massa Específica (g/cm³)
<b>Fluff</b>	<2,36 mm	3,01
	<1,18 mm	3,05
<b>Areia</b>	<2,36 mm	2,51
	<1,18 mm	2,52



### 3.3 Análise Química elementar e Perda ao Fogo

No resultado da análise elementar (tabela 4) para as diferentes frações granulométricas, foi verificada a presença de Fe, Si e Al, sendo menos presente os metais como Pb, Cu, Cr e Zn. Estes metais são de fundamental importância na avaliação do impacto que o resíduo possa provocar no meio ambiente. Entretanto, RECKZIEGUEL (2011) realizou ensaios de lixiviação e solubilização (NBR 10004:2004) e classificou o resíduo como não perigoso – Classe II – não inerte, devido à solubilização de Fe e Mn, elementos com menor preocupação ambiental.

A diferença entre as frações granulométricas não resultou em alteração significativa na composição elementar do resíduo.

Tabela 4 Análise química elementar para resíduo com fração menor que #2,36 mm (esq.) e fração menor que #1,18 mm (dir.).

Analyte	Result	Analyte	Result
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.8037 %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.2573 %
SiO <sub>2</sub>	29.0935 %	SiO <sub>2</sub>	31.5616 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.0414 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.5399 %
CaO	5.8903 %	CaO	5.6140 %
ZnO	2.5595 %	ZnO	2.5907 %
TiO <sub>2</sub>	1.5362 %	TiO <sub>2</sub>	1.3741 %
MgO	0.9183 %	MgO	0.8841 %
K <sub>2</sub> O	0.7411 %	K <sub>2</sub> O	0.7288 %
SO <sub>3</sub>	0.6700 %	SO <sub>3</sub>	0.7138 %
Na <sub>2</sub> O	0.3760 %	Na <sub>2</sub> O	0.3430 %
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3033 %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3286 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2989 %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2957 %
PbO	0.2769 %	PbO	0.2921 %
BaO	0.2116 %	CuO	0.2299 %
CuO	0.1671 %	SrO	0.1956 %
SrO	0.1642 %	BaO	0.1827 %
Cl	0.1407 %	Cl	0.1468 %
ZrO <sub>2</sub>	0.1329 %	ZrO <sub>2</sub>	0.1433 %
NiO	0.0743 %	NiO	0.0980 %
CO <sub>2</sub>	15.6000 %	CO <sub>2</sub>	13.4800 %

Apesar de não ser de grande representatividade a diferença de perda ao fogo (% de CO<sub>2</sub>), ensaio que determina a quantidade de matéria orgânica presente no resíduo, era visível a maior presença de pequenos pedaços de madeira (orgânicos) na fração passante para #2,36 mm em relação à fração passante para #1,18 mm. Assim, foi realizado ensaio para a determinação de impurezas orgânicas para as duas frações granulométricas.

### 3.4 Determinação de Impurezas Orgânicas

A determinação de impurezas orgânicas no fluff, para a sua utilização como agregado miúdo, foi utilizada a norma NBR NM 49 (2001), que estabelece método de determinação colorimétrica de orgânicos em agregado miúdo destinado ao preparo de concreto. Este fator é importante, pois a presença de matéria orgânica pode acarretar no aumento do tempo de início de pega e diminuição da resistência inicial do concreto devido à formação de bolhas de ar internas na mistura (DESSY et al., 1998).

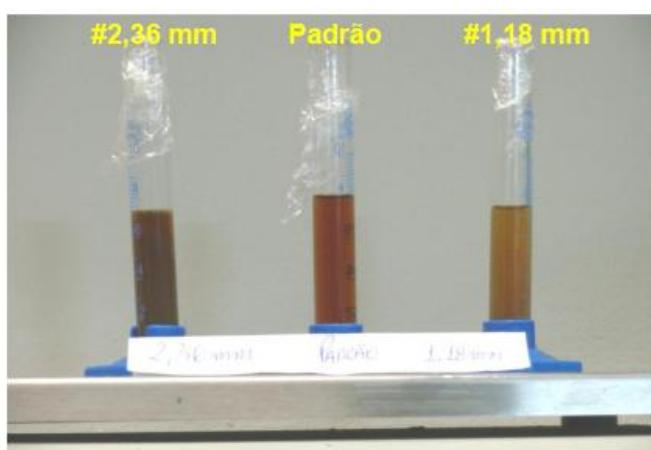
Neste ensaio são preparadas duas soluções conforme NBR NM 49 (2001), uma delas é utilizada como cor padrão (solução padrão de ácido tânico a 2%), e a outra solução (solução de hidróxido de sódio a 3%) é colocada em contato com o resíduo, que reage e adquire uma coloração característica conforme a quantidade de orgânicos. Quanto mais escura ficar a solução, mais matéria orgânica está presente no material analisado. Neste ensaio, devido às características do resíduo, foi necessário acrescentar uma maior quantidade da solução ao



resíduo, em função dos finos, que absorveram o líquido e impossibilitaram a sua filtragem. Foram acrescentados 100 ml a mais do que estabelecido em norma.

Após a filtragem da solução que esteve em contato com o fluff, foi analisada a coloração da solução para fração menor do que #2,36 mm e para a fração menor do que #1,18 mm com a solução padrão (fig. 3).

Figura 3 Resultado da determinação colorimétrica de impurezas orgânicas



Com este ensaio, foi possível determinar que o resíduo peneirado em abertura de #1,18 mm apresentou característica de impurezas orgânicas aceitáveis, isto é, a sua coloração foi mais clara do que a coloração padrão, enquanto que a outra fração analisada apresentou coloração mais escura em relação a padrão. Conforme NBR 7211 (2005) a fração com coloração mais escura deve passar por testes comparativos de resistência à compressão estabelecida pela NBR 7221 (1987).

#### 4 Conclusão

Com bases nestes resultados, é possível concluir que o resíduo estudado possui potencial para ser usado como agregado para argamassa e concreto. A sua granulometria é compatível para que ele seja usado como agregado miúdo, entretanto a presença de finos deve aumentar a demanda por água, sendo necessários maiores estudos para determinar a influência dos finos no concreto/argamassa. A presença dos componentes elementares não se modifica de forma significativa para as duas frações granulométricas estudadas, entretanto a impureza para compostos orgânicos em agregados miúdos apontou a fração passante na peneira #1,18 mm como um material com maior qualidade como agregado.

Os resultados apresentados apenas caracterizam o resíduo, de forma a subsidiar futuros ensaios, que possam determinar a real condição do uso deste resíduo como agregado na construção civil.

#### 5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas: NBR NM 49.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente: NBR NM 52.** Rio de Janeiro, 2003.



#### 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado para concreto: NBR 7211.** Rio de Janeiro, 2005.

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

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solos – Determinação da massa específica: NBR 6508.** Rio de Janeiro, 1984.

BOUGHTON B, HORVATH A. **Environmental assessment of shredder residue management.** Resource Conserve Recycling; 47(1), p.3–25. 2006.

CIUCCIO, M.T.P. **Estudo de tendências e oportunidades no desenvolvimento sustentável para a reciclagem de veículos e seus materiais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2004.

DESSY, P.; BADALUCCO, C.; BIGNAMI, F.C.; et al. **Analysis of performances of concrete components made with recycled aggregates.** In: MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION – CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 1998, Gavle, Sweden. Proceedings... Gavle: Kickan Fahlstedt, KTH, 1998. Symposium A., 2v. v. 1, p 149-156.

HOFFMAN, D.C., Hains, N.L. **Methods and compositions for use in recycling metal containing furnace dust.** United State Patent 5,186,742. February 16, 1993.

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia – **Siderurgia Brasileira: Relatório de Sustentabilidade 2010,** disponível em <[http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/relatorio08\\_2010.pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/relatorio08_2010.pdf)>, acesso em Outubro de 2012.

JOHN, V. **Pesquisa e desenvolvimento de mercados para resíduos.** In: Workshop “Reciclagem e Reutilização de Resíduos como materiais de construção civil” São Paulo. ANTAC. 1996.

MASUERO, A, MOURA, W., DAL MOLIN, D., VILELA, A. **Utilização de escórias de aciaria e de cobre como adições para concretos,** 1st. International Congress of Concrete Technology, jun. 1998, Buenos Aires Argentina.

MORIOKA, T et al. **Eco-efficiency of advanced loop-closing systems for vehicles and household appliances in hyogo eco-town.** Journal of Industrial Ecology, 9(4), p.205–215, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades de concreto.** São Paulo, Ed. Pini, 2<sup>a</sup> ed., 1997, 828p.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** São Paulo, Ed. Globo, 12<sup>a</sup> ed., 1993, 299p.

RECKZIEGEL, V., CATEN, C.T., SCHNEIDER, I.A.H., CANABARRO, J. **Aplicação do planejamento experimental na viabilidade técnica do reaproveitamento do resíduo do triturador de sucata na co-geração de energia, em uma indústria siderúrgica.** Anais CEFET: III Encontro Fluminense de Energia de Produção, CEFET, RJ, 2011.