

# A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE LAMA DE ACIARIA EM CONCRETOS E ARGAMASSAS

PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA  
DO IPEN  
DEVOLVER NO BALCÃO DE  
EMPRÉSTIMO

Aldo Siervo de Amorim<sup>(1)</sup>  
Maria Aparecida Faustino Pires<sup>(1)</sup>  
Paulo Miranda Figueiredo<sup>(1)</sup>  
Maria Alba Cincotto<sup>(2)</sup>

Um dos maiores desafios que a sociedade moderna enfrenta é a proteção ao meio ambiente. Os principais pontos deste desafio são: a redução do consumo energético, de matérias primas naturais e a produção de resíduos. A quantidade de resíduos gerados vem aumentando consideravelmente como resultado direto das diversas atividades e processos que acompanham o desenvolvimento industrial.

O principal objetivo deste trabalho é o reaproveitamento de resíduo siderúrgico (lama de aciaria, cuja composição é a magnetita) em componentes da construção civil visando aumentar a média de reciclagem de resíduos no setor e, conseqüentemente, diminuir o impacto desse resíduo no meio ambiente.

Para atingir este objetivo foram estudadas adições deste resíduo, como obtido na siderúrgica (COSIPA-SP), na formulação de concretos para a finalidade de blindagem de radiação, como agregado graúdo, em forma de pelotas e, como substituição da fração fina de uma areia composta, a partir de uma curva granulométrica teórica, na composição de uma argamassa de revestimento.

Os resultados obtidos no processo de pelotização mostram que as pelotas obtidas tiveram massa específica de  $2,75 \text{ g cm}^{-3}$ , bem próxima a da brita comum ( $2,55 \text{ g/cm}^3$ ), mas apresentaram uma baixa resistência à compressão, 0,2KN para as pelotas e 5,8KN para a brita. Estes resultados mostram que sua utilização poderia comprometer a resistência mecânica do concreto, sem trazer nenhuma vantagem de aumento de densidade e de incremento de atenuação de radiação.

As argamassas produzidas pela adição da fração fina do resíduo, em substituição à areia, mostraram uma melhora na retenção de água no estado fresco (95%), em comparação com as produzidas sem resíduo (41%) e, para todas as proporções de substituição, a mesma resistência à compressão (aproximadamente 40 MPa). O seu aproveitamento mostra-se viável, desde que as propriedades magnéticas que ele confere à argamassa não comprometam o seu emprego.

Palavras-Chaves: Reciclagem, Meio Ambiente, Construção Civil, Siderurgia.

1. Departamento de Engenharia Química e Ambiental, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN-CNEN/SP. Travessa R, 400 Cidade Universitária. e-mail: [mjapires@pci.ipen.br](mailto:mjapires@pci.ipen.br).  
2. Pesquisador Associado, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica-Departamento de Engenharia de Construção Civil. PCC/USP

8445

## 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos ou semi-sólidos são definidos como produtos do processamento industrial que, por suas características, não podem ser lançados nas redes de esgoto. O mesmo pode ser definido para determinados resíduos líquidos, do mesmo processo industrial ou doméstico, que não são passíveis de tratamento por métodos convencionais. Inclui-se também nesta definição os lodos de tratamento de efluentes industriais<sup>(1)</sup>. A disposição inadequada destes resíduos pode gerar novas fontes de poluição e ocasionar novo impacto ao meio ambiente, resultando em processos de recuperação em sua maioria difíceis e onerosos.

A estratégia tradicional de colocação de resíduos no mercado tem sido a da "venda ou doação de resíduos". Nesta linha atuam as bolsas de resíduos organizadas a partir das Federações das Indústrias. Neste modelo, normalmente o cliente (usuário) é que detém a tecnologia de reciclagem e, via de regra, o resíduo é empregado em substituição a outro produto. A ênfase de venda é, sempre, o menor preço. Muitas vezes é impossível a colocação do resíduo no mercado mesmo na forma de doação. Esta abordagem é relativamente eficiente e resolve o problema do ponto de vista da sociedade e do produtor do resíduo, mas apresenta seus limites.

Em primeiro lugar, o produtor não possui maior controle da forma de utilização do resíduo e as falhas na utilização do mesmo podem afastar consumidores ou mesmo, causar problemas ambientais e de saúde a trabalhadores e usuários. Em segundo lugar, o "mercado" assim estabelecido é instável e, muitas vezes, monopsonico ou oligopsonico. Em terceiro lugar, o faturamento obtido com a comercialização do resíduo é geralmente desprezível ou inexistente.

Uma visão mais moderna da reutilização de resíduos é a partir de uma caracterização do resíduo, selecionando formas de reciclagem que maximizem o potencial intrínseco deste e, que apresentem vantagens competitivas potenciais em termos de desempenho e não em termos de preço ou custo, ou seja, aplicações nas quais o produto agregue valor para o consumidor<sup>(2)</sup>.

### 1.1. A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é o setor industrial que consome maior volume de matéria prima, assim sendo, passa a ser também, um setor de grande possibilidade recicladora. Este setor industrial está presente em todas as regiões do país e em muitos casos apresenta muita tolerância quanto aos materiais usados em componentes com diferentes funções. Estas funções podem ser cumpridas de maneira satisfatória por produtos simples, com baixa resistência mecânica, tolerância a elevadas variações químicas, etc.

O reaproveitamento de lama vermelha como agregado para o concreto, é um bom exemplo da reciclagem de resíduos na construção civil<sup>(3)</sup>. A lama

vermelha é um resíduo da transformação do minério de alumínio, denominado bauxita, à forma metálica de grande aplicação na metalurgia moderna. Este resíduo é constituído basicamente de silicatos de ferro e alumínio, com elevada causticidade, originado do processamento alcalino a que é submetida a bauxita. Para obtenção do agregado, a lama vermelha é aglomerada em disco pelotizador. As pelotas são sinterizadas onde ocorre a aglomeração a 1200 °C, obtida pela queima do carvão contido nas pelotas. Analisando o desempenho dos corpos de prova confeccionados com estes agregados e com os agregados graníticos, verificou-se a viabilidade do uso desse agregado, obtendo-se um material com maior leveza e, com possibilidade de atender a faixa de resistência à compressão entre 10 MPa e 25 MPa, à idade de 28 dias.

Valle<sup>(4)</sup> aborda, em seus estudos, o gerenciamento de resíduos realizado pela AÇOMINAS. No processo produtivo a empresa gera cerca de 610 kg de resíduos por tonelada de aço produzido, deste total, 59% são as escórias de alto forno e aciaria. As escórias dos alto - fornos são utilizadas como matéria prima na indústria cimenteira ou em substituição ao agregado miúdo em argamassas e concretos, o que reduz o consumo de cimento. As escórias de aciaria, após seu beneficiamento, a fração metálica é reciclada e, o restante, denominado agregado siderúrgico, tem sua utilização como lastro ferroviário, na pavimentação de vias, seja como material de base ou acabamento e, como agregado em concreto não estrutural.

Estudo recente<sup>(5)</sup> mostra a viabilidade técnica da adição do "Resíduo Oriundo do Forno Elétrico" (ROFE), ao cimento Portland. A produção mensal do pó oriundo de um forno elétrico na Siderúrgica Mendes Junior S.A é de 600 toneladas. Esse resíduo se apresenta como um material sem propriedades aglomerantes à temperatura ambiente, pois é composto essencialmente pelo óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ). Essa pesquisa mostrou que é viável a adição do ROFE ao cimento Portland (CPII-E/32) utilizando-se um traço de 1:3 (ROFE : cimento). Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, comparados com o concreto sem resíduo, não apresentaram diferença significativa e, utilizando este traço, há um maior consumo de resíduo industrial com custo desprezado (ROFE) e um menor consumo de cimento (produto de elevado custo).

Uma revisão sobre o estado da arte da pesquisa sobre reciclagem de diversos resíduos no Brasil, como materiais alternativos para uso na construção civil, foi recentemente realizada por John<sup>(6)</sup>. A Tabela 1 apresenta um resumo desse estudo, tanto do ponto de vista da substituição de cimento por outro material com propriedades aglomerantes como substituição de agregados, sempre tendo em mente a reutilização de um resíduo para minimizar seu impacto no meio ambiente.

Tabela 1. Resíduos reciclados como material de construção civil e grau de desenvolvimento da pesquisa no Brasil <sup>(6)</sup>.

Resíduos*	Caracterização	Risco Ambiental	Alternativas de Reciclagem	Estudos laboratoriais	Risco Ambiental do produto	Viabilidade Econômica	Desenvolvimento do Processo	Controle de qualidade/Normalização	Transferência da Tecnologia	Novas Alternativas
Escória de Alto Forno										
Cinza Volante										
Escória de Aciaria										
Cinza de Grelha										
Entulho de Obra										
Cinza de Casca de Arroz										
Escória de Cobre										
Cinza de Xisto Betuminoso										
Fosfogesso										
Fibras Vegetais										
Microsilica										
Cal de Carbureto										
Resíduos de Madeira										
Areia de Fundação										
Beneficiamento de Rochas										
Aparas de Plástico										

\* As áreas em cinza forte indicam conhecimento consolidado. Cinza fraco conhecimento em desenvolvimento. Em branco conhecimento incipiente ou inexistente.

## 1.2. RESÍDUOS NA SIDERURGIA

A Tabela 2 apresenta os resultados do gerenciamento dos resíduos produzidos no processo siderúrgico. Estes resíduos são constituídos, predominantemente, por escórias de alto-forno e aciaria (cerca de 50%) sendo que o restante engloba finos, pós, lamas, borras e refratários. No que se refere a emissões, a indústria siderúrgica se caracteriza por grandes volumes de efluentes sólidos, líquidos e gasosos, em geral, não tóxicos<sup>(7)</sup>.

Tabela 2. Geração, reciclagem e descarte de resíduos na Indústria Siderúrgica<sup>(7)</sup>.

	10 <sup>3</sup> t ano <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	(%)
Geração	14.984	703	100
Reciclagem	9.345	439	62,4
Descarte	5.639	264	37,6

A formação de poeira em conversores é causada essencialmente pela ejeção de partículas do metal líquido ocasionada pela reação do oxigênio com o CO na superfície do banho metálico. A explosão das gotas inicialmente ejetadas ocorre porque uma porção da camada de óxido que cobre a bolha é sugada para dentro dela, fazendo com que haja a formação de CO e a conseqüente explosão da gota<sup>(8)</sup>. Esta poeira em suspensão é removida do ambiente utilizando-se um sistema de filtros-manga, os quais são lavados, dando origem à lama de aciaria. Esta lama é bombeada para espessadores e, em seguida, filtrada em um filtro prensa. As tortas obtidas são levadas para uma área de deposição. No caso da COSIPA<sup>(9)</sup>, o estoque estimado em fevereiro de 2000 somava 11.252 toneladas, ocupando um espaço de 9.700m<sup>3</sup>.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo estudar a influência da adição de lama de aciaria em concretos e argamassas aumentando a média de reciclagem deste tipo de resíduo. Para isso foram produzidos concretos e argamassas utilizando lama de aciaria como substituição de uma parte dos agregados e comparados com aqueles obtidos com agregados naturais.

## 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para atingir os objetivos teve como base 4 etapas:

- Caracterização física e química do resíduo utilizando as técnicas de difração de raios-X, fluorescência de raios-X e granulometria a laser;
- Formulação de concretos com adição de resíduo para estudos de blindagem de radiação;
- Ensaios de pelletização do resíduo para produção de agregados graúdos;
- Ensaios de composição de argamassas a partir de curvas granulométricas.

### 3.1. FORMULAÇÃO DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUO PARA ESTUDOS DE BLINDAGEM DE RADIAÇÃO

Materiais comuns tais como o concreto e o chumbo podem ser usados como absorvedores ou como blindagens para reduzir exposições aos trabalhadores. Radiação beta ou elétrons são completamente freados com poucos centímetros desses materiais. Para a radiação X e gama, o processo de absorção depende do grau da absorção Compton ou do espalhamento, o qual, por sua vez, aumenta conforme a densidade de elétrons dos átomos do absorvedor. Por definição, a espessura de qualquer material que reduza a metade a quantidade de radiação que a atravesse é chamada de camada semi-redutora<sup>(10)</sup>.

Dessa forma, concretos pesados (ou mais densos) são considerados um dos melhores materiais para blindagem. Para a confecção dos corpos de prova para estudos de blindagem foram utilizados dois tipos de cimento: o cimento CP11-E32 e o cimento CPV-ARI-RS/MS. Em ambas a formulação manteve-se constante o traço em massa dos materiais e a relação água:cimento. A substituição de areia por resíduo foi de 10%, 20% e 30%.

O traço para o concreto sem resíduo utilizado foi 1:1,217:1,833 (cimento:areia:brita) e manteve-se constante a relação água:cimento em 0,4. Foram utilizados também o aditivo plastificante EUCOPLAST 802-P na proporção de 0,3% e o aditivo superplastificante EUCOPLAST 1203-P na proporção de 1%, sendo que essas porcentagens se referem à massa de cimento.

Os ensaios de blindagem foram executados utilizando uma fonte gama de Cobalto (Co-60) de 3,62 mCi de atividade e um detector de NaI(Tl) tipo poço.

### 3.2. ENSAIOS DE PELOTIZAÇÃO DO RESÍDUO PARA PRODUÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS

A pelletização é um processo de granulação de pós, cuja finalidade é agregar, na forma esférica, um grande número de partículas com características desejáveis. A técnica de pelletização é de grande importância na área de granulação de pós por facilitar maior contato entre as partículas e, permitir a obtenção de pelotas com uniformidade dimensional, resistência mecânica e possibilitar, de forma econômica, o aproveitamento de pós-ultrafinos.

A formação de pelotas ocorre durante o movimento de rotação do pelletizador, onde partículas umedecidas formam núcleos que, ao colidir com outras partículas envolvidas por um filme superficial de água e, com partículas secas, crescem formando corpos esféricos até o tamanho desejado<sup>(11)</sup>.

Com o objetivo de substituir o agregado graúdo pelo resíduo, estudou-se a pelletização do resíduo com adição de cimento Portland CPV-ARI-PLUS-RS/MS nas proporções de 7% e 10% em massa de cimento.

O resíduo foi seco em estufa a 105° por 3 horas e triturado em moinho de bolas. Em seguida foram adicionadas duas proporções de cimento e a mistura homogeneizada em tambor rotativo, por 24 horas. Os materiais foram pelotizados, borrifando-se água, utilizando-se uma betoneira adaptada para funcionar como disco pelotizador. As pelotas obtidas por esse processo foram classificadas, utilizando-se as pelotas com diâmetro médio de 20mm. Após classificação, estas foram curadas, a temperatura e umidade ambiente, para posterior realização dos testes de caracterização do material pelotizado.

Foram realizados os ensaios de determinação de massa unitária (NBR-7251), determinação de massa específica (NBR-9937) e resistência à compressão, sendo que este último foi realizado apenas como referência. Os ensaios foram realizados aos 7 e 28 dias de cura das pelotas e, para efeito de comparação, foram também executados ensaios com brita e hematita de diâmetro semelhante.

### 3.3. ENSAIOS DE COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS A PARTIR DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS

O procedimento para a determinação da composição e dosagem dos materiais de uma argamassa, através de uma curva granulométrica, formada por todos os seus materiais ainda é uma técnica nova. No entanto, este procedimento já era utilizado por pesquisadores no começo deste século para dosagem de concreto e argamassas. E, todos tinham como base o trabalho pioneiro de William Füller que determinou, a partir de dosagens experimentais, o perfil ideal de uma curva, para obter a máxima compactação do concreto, englobando nessa curva o aglomerante e o agregado<sup>(12)</sup>.

A partir das conclusões de Füller, Furnas<sup>(13)</sup> propôs uma equação matemática para gerar curvas de distribuição bem graduada e obter concretos de máxima compactidade. De acordo com Furnas, o modelo matemático que representa essa distribuição granulométrica é a equação do termo geral do somatório de uma progressão geométrica (P.G.) (Equação 1).

$$S = A (1-R^m) / (1-R) \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

- S – o número resultante da soma de todas as partículas, a compactidade;
- A – a quantidade de partículas do primeiro termo da série;
- R – a razão entre as quantidades dos termos sucessivos;
- m – número de termos, que na realidade é o número de constituintes da mistura.

Os constituintes considerados por Furnas foram duas faixas de agregado graúdo, uma faixa de agregado miúdo e o cimento. No trabalho não foram especificadas as faixas de diâmetro dos agregados.

Para substituir a fração fina de uma areia na composição de uma argamassa foram estudadas as curvas granulométricas da areia e do resíduo, separando as frações adequadas.

Primeiramente o resíduo foi seco em estufa a 105 ° C, por 3 horas, até não ocorrer variação de massa. O resíduo seco foi então desagregado em um moedor manual onde foram separadas as frações mais finas para separação granulométrica. A fração mais grossa foi novamente desagregada para se obter uma quantidade razoável de material.

Para a execução dos ensaios foram utilizados aproximadamente 100 kg de areia e 30 kg de resíduo. Este material foi peneirado para a confecção de 6 argamassas de traço constante de 1:2,48 (cimento : agregado). Foram feitas 4 formulações de agregado (substituição de 100%, 75%, 50% e referências) necessitando de 59,435 kg de agregado, sendo 52,672 kg de areia e 6,763 kg de resíduo.

A curva granulométrica teórica foi escolhida com base nos estudos executados por Carneiro<sup>(11)</sup>, por ter obtido as maiores resistências à compressão. Neste estudo, entretanto, Carneiro compôs as argamassas utilizando proporções iguais de cimento e cal. Neste trabalho utilizamos apenas o cimento como aglomerante.

O resíduo substituiu a areia nas frações das peneira de 0,125mm, 0,150mm e 0,075mm (ABNT # 100, #150 e #200) nas proporções de 100%, 75% e 50%. Foi produzida também uma argamassa de controle onde não foi substituída a areia pelo resíduo. Nas Tabelas 3 e 4 são apresentadas as frações granulométricas da areia e do resíduo, utilizadas para composição do agregado.

Tabela 3. Composição granulométrica da areia utilizada para o estudo

Peneira (mm)	% retida	Com 100% de resíduo (kg)	Com 75% de resíduo (kg)	Com 50% de resíduo (kg)	Sem resíduo (kg)	Total utilizado (kg)
2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,7	10,82	2,256	2,256	2,256	2,256	9,024
1,18	9,77	2,034	2,034	2,034	2,034	8,136
0,85	8,82	1,836	1,836	1,836	1,836	7,344
0,6	7,96	1,662	1,662	1,662	1,662	6,648
0,425	7,18	1,494	1,494	1,494	1,494	5,976
0,3	6,48	1,350	1,350	1,350	1,350	5,400
0,212	5,85	1,218	1,218	1,218	1,218	4,872
0,15	5,28	0,0	0,274	0,549	1,098	1,921
0,106	4,76	0,0	0,247	0,495	0,990	1,732
0,075	4,31	0,0	0,223	0,447	0,949	1,619
Fundo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 4. Composição granulométrica do resíduo necessária para o estudo

Peneira (mm)	% retida	Com 100% de resíduo (kg)	Com 75% de resíduo (kg)	Com 50% de resíduo (kg)	Sem resíduo (kg)	Total utilizado (kg)
0,15	5,28	1,098	0,823	0,549	0,0	2,470
0,106	4,76	0,990	0,742	0,495	0,0	2,227
0,075	4,31	0,949	0,670	0,447	0,0	2,066
Fundo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

O resíduo e a areia foram misturados manualmente para se evitar a quebra das partículas e alterar a distribuição granulométrica.

A partir da composição do agregado foram executados: no agregado a determinação da massa unitária (NBR-7251) e na argamassa a determinação do consumo de água (NBR-9290) e a determinação da massa específica aparente, segundo a norma francesa do "Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Travaux d'enduits aux mortiers de liant hydrauliques". Foram moldados corpos de prova de 4x4x16 cm os quais ficaram em cura úmida por 28 dias para os ensaios de resistência à compressão e a tração na flexão.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir apresentamos uma síntese dos resultados obtidos.

##### 4.1 Caracterização Física e Química

A identificação mineralógica qualitativa e quantitativa do resíduo foi realizada utilizando-se a técnica de espectrometria de difração de raios-X, apresentada na Figura 1.

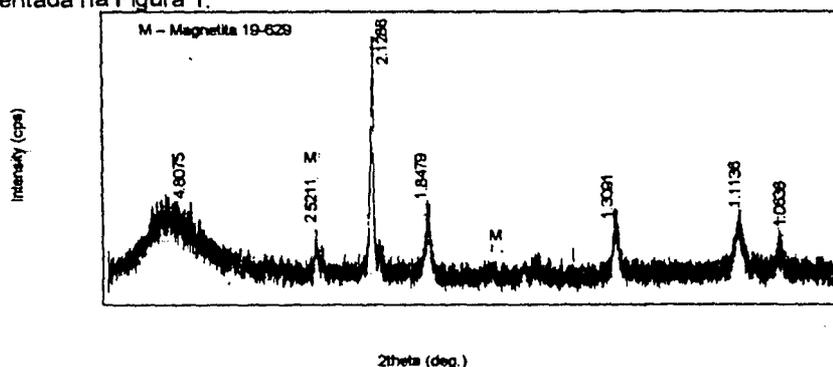


Figura 1. Difratoograma da lama de aciaria

Os resultados do difratograma, apresentado na Figura 1, identificaram que os picos característicos do material correspondem à magnetita.

A avaliação da composição química da amostra foi realizada aplicando-se a técnica de fluorescência de raios - X, apresentada na Tabela 5. Podemos observar que o componente principal do resíduo, com 87,4 % é o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , seguido por  $\text{CaO}$  e  $\text{SiO}_2$  com 5,51% e 2,99%, respectivamente.

Tabela 5. Composição da Lama de Aciaria utilizando-se Fluorescência de R-X

Composição Química	Concentração em %	Composição Química	Concentração em %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	87,4	$\text{MnO}$	1,69
$\text{CaO}$	5,51	$\text{SO}_3$	0,319
$\text{SiO}_2$	2,99	$\text{NiO}$	0,014
$\text{MgO}$	2,66	$\text{ZnO}$	0,075
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,78	$\text{TiO}_2$	0,068
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,47	$\text{CuO}$	0,012
$\text{K}_2\text{O}$	0,074	$\text{SrO}$	0,012
$\text{Cl}$	0,077	$\text{PbO}$	0,027
$\text{Na}_2\text{O}$	0,112	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,037

Os resultados obtidos com a granulometria a laser para o resíduo moído, cujo gráfico está apresentado na Figura 2, mostram que o diâmetro das partículas tem uma distribuição bi-modal, onde se observa uma faixa extensa de 0,1 a 4  $\mu\text{m}$  e outra menor de 5 a 15  $\mu\text{m}$ , sendo que o diâmetro médio foi obtido na primeira faixa e é de 0,92  $\mu\text{m}$ .

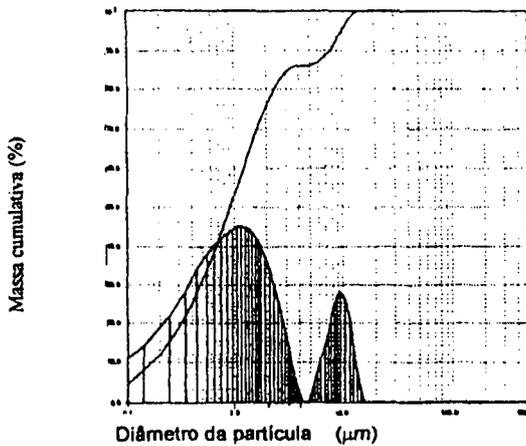


Figura 2. Distribuição Granulométrica do Resíduo Seco

#### 4.2 Produção dos Corpos de Prova de Concreto Pesado

Os resultados obtidos nos ensaios de blindagem e resistência à compressão estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados dos ensaios de resistência a compressão e poder de atenuação dos corpos de prova produzidos com resíduo.

Identificação do corpo de prova	Proporção de resíduo (%)	Massa (kg)	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Atenuação (nº de vezes)	Resistência à compressão (MPa)
0%CP II	0	12,60	2,423	4,35	73,0
0%CP V	0	13,00	2,500	3,63	64,5
10%CP II	10	12,60	2,423	4,57	80,0
10%CP V	10	13,00	2,500	3,40	80,0
20%CP II	20	12,80	2,460	4,67	78,0
20%CP V	20	13,20	2,538	4,60	76,5
30%CP II	30	13,10	2,529	4,96	72,0
30%CP V	30	13,20	2,538	4,94	70,5
30%CP II	30	12,65	2,433	4,29	69,5
30%CP V	30	13,20	2,538	4,82	70,7

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 6 podemos observar que houve uma pequena variação da densidade nos corpos de prova, quando a % de resíduo aumentou de 0 para 30% e, portanto, do poder de atenuação, para as diversas proporções de resíduo, independente do tipo de cimento utilizado (CP-II ou CP-V). Porém, essa pequena variação não justificaria o emprego deste resíduo para substituição de areia com a finalidade de blindagem de radiação. Entretanto, podemos observar também, que houve uma pequena variação nos resultados de resistência à compressão indicando que pequenas adições de resíduo não interferem nessa propriedade do concreto.

#### 4.3 Ensaios de pelotização

Os resultados de massa específica estão apresentados na Tabela 7 e, os resultados de massa unitária e carga de ruptura, descritos na Tabela 8.

Tabela 7. Resultados dos ensaios de massa específica das amostras produzidas com resíduo (pelotas) e de amostras de brita e hematita comerciais.

Amostra / Identificação	Cimento (%)	Tempo de cura (dias)	Massa Específica na condição seca ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Massa Específica na condição saturada superfície seca ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Absorção de água (%)
Pelotas	07	07	2,76	3,05	10,54
Pelotas	07	28	2,70	3,01	11,24
Pelotas	10	07	2,75	3,04	10,49
Pelotas	10	28	2,75	3,03	10,27
Brita	-x-	-x-	2,55	2,60	2,10
Hematita	-x-	-x-	4,74	4,78	0,86

Tabela 8. Resultados dos ensaios de massa unitária e carga de ruptura das amostras produzidas com resíduo e das amostras de brita e hematita comerciais

Amostra	Cimento (%)	Tempo de cura (dias)	Massa Unitária ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Carga de ruptura (KN)
Pelotas	07	07	15,7	0,166
	07	28	15,8	0,224
	10	07	16,1	0,215
	10	28	16,1	0,196
Brita	-x-	-x-	13,8	4,801
Hematita	-x-	-x-	27,2	5,889

Analisando os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8, podemos observar que as pelotas produzidas com adição de cimento ao resíduo não obtêm uma massa específica elevada ( $2,75 \text{ g cm}^{-3}$ ) quando a comparamos com a brita ( $2,55 \text{ g cm}^{-3}$ ), normalmente utilizada em construções comuns, nem com a hematita ( $4,74 \text{ g cm}^{-3}$ ), utilizada em blindagem de radiação. Observamos também que embora não exista um ensaio para se medir a resistência mecânica de agregados artificiais, os produzidos com lama de aciaria tiveram um comportamento muito abaixo do registrado para brita e hematita, aproximadamente 0,2, 4,8 e 5,8 KN respectivamente.

Avaliando esses resultados podemos concluir que um concreto que utilize este agregado artificial não terá alta densidade e nem resistência mecânica satisfatória, embora possa ser utilizado onde essas características não sejam necessárias.

#### 4.4 ENSAIOS DE COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS

Os resultados nestes ensaios estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Resultados das argamassas compostas com resíduo.

Quantidade de resíduo	100%	0%	50%	75%
Densidade da argamassa ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,83	2,63	2,81	2,81
Relação água/cimento	0,60	0,53	0,54	0,54
Densidade no estado fresco ( $W_a$ ) ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,24	2,19	2,19	2,22
Densidade teórica ( $W_c$ ) ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,26	2,23	2,30	2,30
Teor de ar incorporado (%)	0,9	2,0	4,8	3,5
Retenção de água (%)	95	41	50	75
Resistência a compressão axial (28 dias) (MPa)	38,0	43,2	44,8	42,5
Resistência à tração na flexão (28 dias) (MPa)	6,4	7,2	7,1	7,1

Analisando os resultados da Tabela 9 podemos concluir que, com exceção dos resultados de teor de ar incorporado e retenção de água, todos os resultados obtidos das argamassas produzidas com ou sem resíduo tiveram comportamento semelhante, inclusive no teste de resistência à compressão. Podemos salientar que o comportamento de uma maior retenção de água das argamassas produzidas com resíduo é um comportamento desejável para uma argamassa de revestimento, pois permite que os grãos de cimento estejam mais tempo em contato com a água permitindo uma maior hidratação.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo a preservação do meio ambiente tema atual, o aproveitamento dos recursos naturais deve ser o mais racional possível, e o estudo dos rejeitos gerados nos mais distintos complexos industriais refletir a preocupação técnica e social no gerenciamento dos mesmos. Sendo assim, acredita-se que o desenvolvimento de pesquisas cujo enfoque seja o reaproveitamento de rejeitos, encontra-se solidária à questão do desenvolvimento sustentado, à medida que viabiliza o consumo de materiais ou subprodutos marginais.

No caso deste trabalho podemos concluir que pequenas adições deste resíduo em concretos e argamassas pouco influem nas características mecânicas dos mesmos, mas requerem estudo mais amplo visando seu desempenho em diferentes aplicações.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB)-Lixiviação de Resíduos Industriais-Método de Ensaio, L.5.510 dez 82 Norma Técnica.
- [2] JOHN, V. M.: Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para Resíduos In: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil- PCC-USP, apostila do curso, 1998.
- [3] DANTAS, F.A.S.; SBRIHI, C.N.: Aproveitamento de Rejeito de Produção de Alumínio a partir da Bauxita como agregado para concreto. In: 1º Simpósio Nacional de Agregados. São Paulo, Julho de 1986.
- [4] VALLE, A.R.: Gerenciamento de Rejeitos na AÇOMINAS. In: Seminário de Reciclagem de Resíduos para Redução de Custos na Construção Habitacional. Belo Horizonte, 1994.
- [5] BARBOSA, M.T.; POLISSENI, A.E.; CARVALHO, E.J.: Viabilidade do Uso do Pó Proveniente do Forno Elétrico na Construção Civil. In: Seminário de Reciclagem de Resíduos para Redução de Custos na Construção Habitacional. Belo Horizonte, 1994.
- [6] JOHN, V. M.: Reciclagem de Resíduos Agro-Industriais para Uso na Construção Civil no Brasil: O Caso da Escória de Alto Forno. In: Reciclagem na Construção Civil, Alternativa Econômica para Proteção Ambiental, Anais, São Paulo, 1997.
- [7] CHEHEBE, J.R.B.; YUAN, M.C.; CASSELATO, L.M.T. Gestão Ambiental na Siderurgia Brasileira, Revista de Metalurgia & Materiais, ABM vol50, n° 433 set/94.
- [8] MANTOVANI, M. S. Caracterização de poeiras geradas em fornos elétricos a arco e seu estudo quando aglomeradas na forma de pelotas auto redutoras. Tese de Doutorado. EPUSP. São Paulo, 1998.
- [9] LENZ, GUILHERME, Estoques na Área de Disposição de Resíduos em Fevereiro de 2000 (Comunicação Pessoal)
- [10] MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto, Estrutura, Propriedades e Materiais, São Paulo, Editora PINI, 1994.
- [11] SEO, E. S. M.; ACEVEDO, M. T. P.; PASCHOAL, J. O. A.: Características das Pelotas de Zircônia e de Óxido de Zircônio Grau Cerâmico e Nuclear Obtidas pela Técnica de Pelotização. In: Anais do 37º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Curitiba, maio de 1993.
- [12] CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao Estudo da Influência do Agregado nas Propriedades de Argamassas Compostas a Partir de Curvas Granulométricas, Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 1999.
- [13] FURNAS, C.C. Grading aggregates, I - mathematical relations for beds of broken solids of maximum density.. Industrial and Engineering Chemistry, v. 23, n°9; Sep. 1931.

## THE INFLUENCE OF ADDITION OF CONVERTER SLAG IN CONCRETE AND MORTARS

One of the largest challenges faced by modern society is the protection to the environment. The main points of this challenge: include reduction on consumption of energy and natural raw materials and decrease on generation of industry residues. The amount of generated residues has been increasing considerably as direct result of the several activities and processes of the industrial development.

The objective of this work is the study of the use of a residue of a steel plant (COSIPA-SP), constituted by magnetite, in components of the civil construction, aiming to increase the recycling and, consequently, to decrease the impact of that residue in the environment.

To reach this objective, additions of this residue were tested in the formulation of concrete with the purpose of radiation shielding, as pellets in coarse aggregate, and as substitute of the fine fraction of sand in the composition of a coating mortar.

The results obtained in the pelletizing process show that the obtained pellets presented value of specific gravity ( $2,75 \text{ g.cm}^{-3}$ ) very close to the one of the common crushed stone ( $2,55 \text{ g/cm}^3$ ), however, they presented a low resistance to the compression, ( $0,2\text{KN}$ ) for the pellets when compared to regular crushed stones ( $5,8\text{KN}$ ). These results show that its use could commit the mechanical resistance of the concrete without bringing any advantage on density increase or increment of radiation attenuation.

The mortars produced by the addition of the fine residue in substitution to the sand, showed an improvement in the retention of water in green (95%), in comparison to the produced without residue (41%). Also, for all the tested proportions of substitutions, the same resistance to the compression (approximately 40 MPa) was achieved. Its use as part of mortar composition showed to be viable, since the magnetic properties that it may confer to the mortar doesn't commit its purpose.

**Keywords:** recycle, environment, civil construction, metallurgy.

TC

maeta

01/12

**Associação Brasileira de  
Metalurgia e Materias - ABM**

---

*Volume 1*

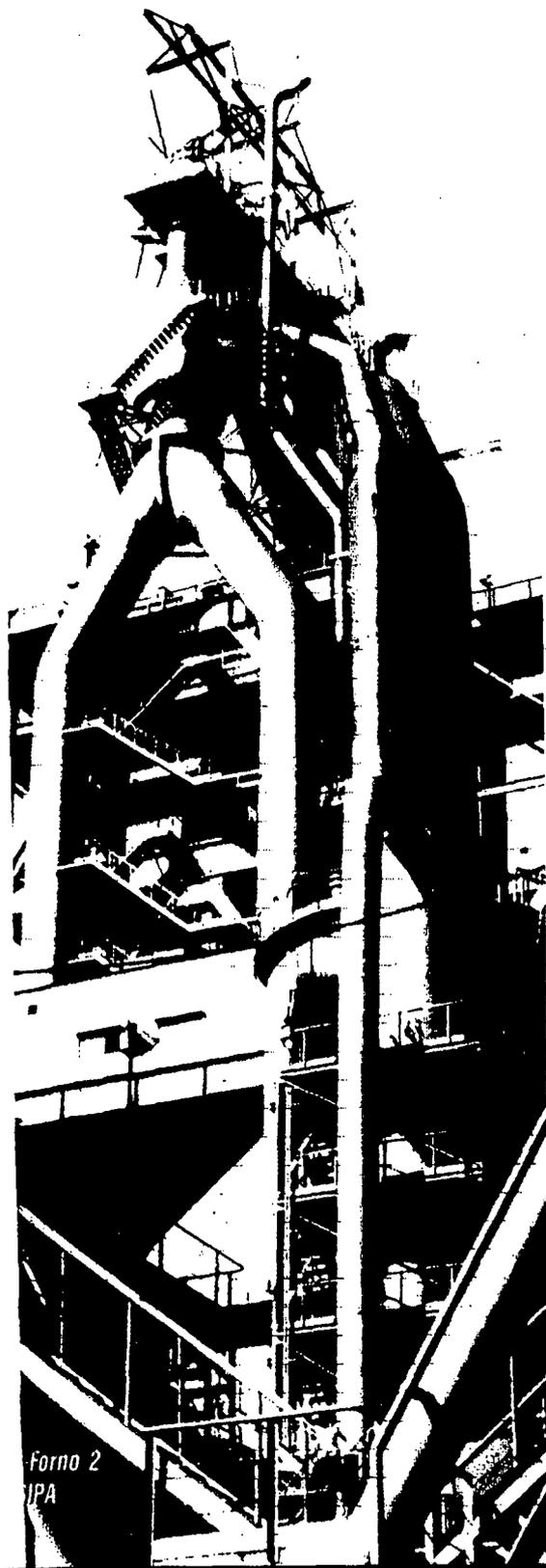
**XXXI Seminário  
de Redução de  
Minério de Ferro**

**XV Seminário de  
Controle Químico  
em Metalurgia**

**XI Seminário de  
Carboquímicos**

29/11 a 01/12/2000  
Parque Balneário Hotel  
Santos - SP

***Divisão Técnica de Redução de  
Matérias-Primas Siderúrgicas***



# SUMÁRIO

"Tuyere tipping, a phenomenon to conquer" - Ian A. Cameron, Ronald M. C. Timmex (CORUS Consulting, Canadá), Gerry Simpson (ROUGE Steel Company) .....	01
"New from old: the application of new technology for competitive blast furnace ironmaking" - M. G. Eden P. J. Doel (VÖEST-ALPINE, UK) .....	13
"A produção de ferro primário com menor impacto ambiental" - Ronaldo Santos Sampaio (RS Consultants), Luiz Eduardo Furiati Lopes (SINDIFER) .....	21
"Rede automática de monitoramento da qualidade do ar da Grande Vitória" - Rogério S. de Queiroz (UNIV. FED. DO ESPÍRITO SANTO), Guilherme C. Abreu, Adilson L. Diesel (CST), Antônio C. Silva, Jennifer Oliva Coronel (SEAMA-ES) .....	31
"Aplicação de escória como pavimento rodoviário e lastro ferroviário" - Sidney N. Silva (CSN), Sérgio Murilo Justus, Ricardo M. Andrade, Elson Longo, Flávia da N. Cunha, Humberto L. de Oliveira Brito (UFSCAR), Fernando Balduino (SOBREMÉTAL) .....	43
"Racionalização do uso da água no Alto-Forno 1 da CST" - Francisco A. Brito, Fernando K. Fujihara (CST) .....	57
"Utilização de celulignina em Altos-Fornos" - Cláudio Rocha Lopes (UFF/FAENQUIL), Daltra Garcia Pinatti (FAENQUIL) .....	65
"Rede de monitores contínuos de material particulado e gases da CST" - Guilherme C. Abreu, Adilson L. Diesel, Jorge M. de Oliveira, Derli da S. Faria (CST) .....	77
"Reciclagem de subprodutos de Aciaria no Alto-Forno: o Zinco é realmente um problema?" - Renato Minelli Figueira, Luiz Fernando A. de Castro, Roberto Parreiras Tavares (UFMG) .....	87
"Usos da escória de Alto-Forno - Alternativas para a melhoria da qualidade ambiental" - Vanusa Maria Feliciano Jacomino (CDTN), Arnaldo Abranches Mota Batista, Eduardo Delano Leite Ribeiro, Luiz Fernando A. de Castro (EEUFMG), Luiz Eduardo Furiati Lopes (SINDIFER) .....	97
"Programa Interagir de Educação Ambiental - Módulo interagindo com parceiros" - Pedro Sérgio B. Filho, Carlos Alberto de Assis (CST) .....	109
"Avaliação do uso do minério de Gongo Soco nas usinas de pelotização da CVRD" - Carlos Eduardo Almeida da Silva, João Batista Conti de Souza, Magno Rodrigues Ribeiro (CVRD) .....	121
"Comparação de metodologias de caracterização de produtos da aglomeração de linos de óxido de ferro" - Mônica Speck Cassola, Sandra Lúcia de Moraes (IPT) .....	131
"Desenvolvimento de aglomerantes orgânicos na Samarco Mineração S/A" - Ricardo V. de Aragão, Hélio Cardoso Pereira, Eduardo P. Rangel, José Flávio Gouveia, Denilson R. de Araújo, Maurício C. Fonseca, Ricardo Vinicius P. Costa (SAMARCO) .....	147
"Gelatinização do amido na flotação reversa de minério de ferro" - Múcio Arêdes Lima, Domingos Magalhães, Sândio Ricardo Pereira (CSN) .....	159
"Caracterização granulométrica preliminar das hematitas macias das Minas de Carajás - Pará - Brasil" - Alan Sampaio Souza, Geraldo Majella Guimarães, José Carlos Araújo Vidigal, Paulo Henrique Matias (CVRD) .....	175
"Influência do aglomerante na cura de pelotas auto-redutoras" - Harisson Matos Ferraz, Cyro Takano (EPUSP) .....	189
"Caracterização química e estrutural do minério de ferro - Sinter Feed - Avaliação Técnica em Sinterização Piloto utilizando minérios da Porção Leste do Quadrilátero Ferrífero" - Tiago Claret Santiago, Guilherme Zavaaglia (CSN), Renato Minelli Figueira, Luiz Fernando A. de Castro, Roberto P. Tavares (EEUFMG) .....	199
"Classificação geosiderúrgica dos principais tipos de minérios de ferro brasileiros - sua gênese e seus produtos" - Luiz Henrique Castro (Consultor, TEQBET), Kiyoshi Márcio Kancko, Caio Augusto Ferrari Libaneo, Sirderey da Anunciação Alves (SAMITRI), Claudio Batista Vieira (UFOP), Fernando Gabriel da Silva Araújo (REDEMAT) .....	215
"Normalização do sistema de enformamento selado da bateria de fornos de coque nº 1" - Evaristo H. da Fonseca, Francisco B. Mariano, Geraldo de Barros (CSN) .....	231
"Melhorias nas baterias de coque da COSIPA" - Luiz C. Costa, Nelson A. de Souza Jr., Edson dos Santos, Aécio dos Santos M. Filho, Paulo Roberto Jorys (COSIPA) .....	239

"Influência do Índice de operação da Coqueria 2 da USIMINAS na qualidade do coque" - Helônio R. Silva Júnior, Antônio Marcos de Oliveira, Gilson Correa (USIMINAS) .....	247
"Ações para melhoria do desenvolvimento ambiental da Coqueria da CST - Evolução dos indicadores de ecoeficiência" - Marcelo W. M. de Andrade, Guilherme Correa Abreu, José Maria Clemente, José Geraldo C. Tardim, Antônio Rossi (CST) .....	259
"Alcatrão de eucalyptus: fonte de aromas e sabores" - Fernando Carazza, Adriana Akeno Okuma (UFMG) .....	271
"Análise de metais em águas por absorção atômica com forno de grafite" - Eugênio B. dos Santos, Marquês M. Kroka, Carlos Alberto Diniz (USIMINAS) .....	281
"Nova metodologia de aplicação de materiais refratários nos canais de corridas dos Allos-Fornos 01 e 02 da CST" - Covetano Berrigan da Abreu Neto, Jorge Luiz Ribeiro de Oliveira, Roberto da Cruz Júnior, José Evaristo Ferreira (CST), Wilson Fernandes Cabral, Marcelo Bernardino Brandão Leite (MAGNESITA) .....	293
"Reparo refratário e mecânico da linha de ar quente do Alto-Forno nº 2 da COSIPA" - Marcos J. Pierrmann, Miguel R. Neto, Mario V. Moraes, Eugely de A. Inocência, Celso P. de Sousa, João Carlos de Jesus, José Carlos de Carvalho, Virgínio C. M. Xavier (COSIPA) .....	307
"Materiais refratários para ala de corrida de altos-fornos" - Humberto Chiarelli Bassalo, Modestino Alves de Moura Brito, Guilherme Melgaço de Moraes, Pedro Mandaj Filho (MAGNESITA) .....	317
"Eliminação da emenda do canal principal com o canal secundário do Alto-Forno 2 da COSIPA" - Vinícius M. Vieira, José Carlos de Carvalho, João F. Bizeria, João Lobo de Barros, Clarimar Peixoto (COSIPA) .....	329
"Nacionalização da massa carbonácea de injeção no cadinho dos Altos-Fornos da CSN" - Sidney Nascimento Silva, Oscar Rosa Marques, Jaii Leandro da Silva, Elson Longo (CSN), Gustavo S. da Matta (UNIV. EST. DE PONTA GROSSA), Jorge Luiz Miranda Vieira, Rubens Habesch (VAMCOSTER TECNOSIDER) .....	341
"Embarrador de gusa da V&M Tubes - Estratégia, implantação e primeiros resultados" - Augusto Rodrigues Borges, Paulo Miranda Gonçalves, Juares de Souza Carvalho (VALLOUREC & MANNESMANN TUBES) .....	355
"Instalação de cabeçote para injeção de fluido de refrigeração das brocas das perfuratrizes do Alto-Forno 2 COSIPA" - Felipe V. Bozzo, Manassés Pereira, Eiseu Neves, Wagner Gomes, Vinícius Vieira, Moisés Magalhães, Dilmar Alves, Geraldo Passos, João Lobo (COSIPA) .....	369
"Desenvolvimento de projeto de revestimento refratário para conjunto porta vento de Altos-Fornos de alta capacidade de isolamento" - Sidney N. Silva, Helder R. da Silva, Antônio H. B. Mello, Glaucio V. C. Gomes (CSN), Sérgio M. Justus, Elson Longo (UFSCAR), Gustavo S. da Matta (UNIV. EST. DE PONTA GROSSA), Lubomir Abadjieff (BEKA BRASIL) .....	375
"Modelamento matemático preliminar do processo de redução direta em fornos de cuba" - José Carlos D'Abreu, Hélio M. Kohler, Mario E. Bustamante (PUC-F.), Luciano T. de Castro, Cássia C. de Souza (MBR) .....	389
"Um modelo de reação pseudo-homogênea para gaseificação do carvão" - Jue Fang, Carlos Eduardo R. de Carvalho, Ricardo José de Faria (UFOP), Paulo Santos Assis (UFOP/REDEMAT) .....	399
"Análise das proporções de char e finos de coque encontrados nos resíduos sólidos captados no gás de saída do Alto-Forno" - Morgana de Ávila Ribas, Eduardo Osório, Antônio César Faria Vilela (UFRGS) .....	407
"Estudo da utilização de energia de microondas na redução de minério de ferro por carbono na forma de pelotas auto-redutoras" - Ivan P. de Carvalho Jr., Marcelo Breda Mourão (EPUSP) .....	419
"Alguns fundamentos para fabricação de escória sintética na Siderurgia usando resíduos" - Sérgio A. Gabrich, Ricardo C. Muñoz (VAMTEC), Juliana A. de Lima (UFOP), Cláudio B. Vieira, Paulo S. Assis (UFOP/REDEMAT) .....	441
"Aumento da redutibilidade de pelotas destinadas aos processos de redução direta e fabricadas com minérios mais compactos" - Marcus Eduardo E. Botelho, Marcelo Leães da Costa, Marcelo Milheiro da Silva, Antonio Napoleão de Souza Neto (CVRD) .....	451
"Caracterização da lama gerada em um conversor VOD (Vacuum Oxygen Decarburatíon), visando reciclagem" - Pedro José Heliasio Seltrinho, Denise Croce Romano Espinosa, Jorge Alberto Soares Tenório (EPUSP) .....	461
"A influência da adição de lama de Aciaria em concretos e argamassas" - Aldo Siervo de Amorim (IPEN-CNEN/SP), Marta Anacleto F. Pires, Paulo M. Figueiredo, Maria Alba Cincoletto (PCC/USP) .....	471
"Pesquisa simulando a redução na cuba" - Jue Fang, Ricardo José Faria, Carlos Eduardo R. de Carvalho (UFOP), Paulo Santos Assis (UFOP/REDEMAT) .....	487