

## Viabilidade técnica da fabricação de cimento com mistura de escória de aciaria LD e resíduo de granito

*Technical feasibility of fabrication of cement agglomerated with granite waste and BOF steel slag*

### Lúcio Flávio Arrivabene

Professor do Departamento Engenharia Metalúrgica e de Materiais - IFES  
[arrivabene@ifes.edu.br](mailto:arrivabene@ifes.edu.br)

### Luiz Alberto Baptista Pinto Junior

Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais - PROPEMM-IFES  
[luizjrp@yahoo.com.br](mailto:luizjrp@yahoo.com.br)

### José Roberto de Oliveira

Professor do Departamento Metalurgia e Materiais - IFES  
[jroberto@ifes.edu.br](mailto:jroberto@ifes.edu.br)

### Jorge Alberto Soares Tenório

Professor Titular  
Departamento Engenharia Metalúrgica e de Materiais - USP  
[jtenorio@usp.br](mailto:jtenorio@usp.br)

### Denise Croce Romano Espinosa

Professora do Departamento Engenharia Metalúrgica e de Materiais - USP  
[espinosa@usp.br](mailto:espinosa@usp.br)

### Resumo

Esse trabalho estuda a viabilidade técnica da fabricação de cimento com uma mistura de resíduo proveniente da serragem de blocos de granito e escória de aciaria LD. Para isso, foi preparada uma mistura desses materiais de modo que a relação  $\%CaO / \%SiO_2$  fosse 1,2. Essa mistura foi fundida e resfriada rapidamente em água. A amostra foi caracterizada e o difratograma de raios X mostrou um material amorfo e a presença das fases mineralógicas Akermanita e Gehlenita, as quais são consideradas como as fases mineralógicas ideais para a atividade hidráulica. Essa mistura foi adicionada ao clínquer para a fabricação de cimento. Com o cimento fabricado, foram feitos ensaios cujos resultados são apresentados e comparados com os valores obtidos para o cimento de alto-forno. Esses resultados indicam a viabilidade técnica da utilização da mistura na fabricação de cimento.

**Palavras-chave:** Escória de aciaria LD, resíduo de granito, cimento.

### Abstract

*This article studies the technical feasibility of manufacturing cement agglomerated with granite block sawing waste and LD steel slag. The materials were mixed in order to maintain the relationship  $\%CaO / \%SiO_2$  of the mixture equal to 1:2. The mixture was melted and rapidly cooled in water. The sample was characterized and the X-ray diffractograms showed an amorphous material and the presence of mineral phases akermanite and gehlenite, which were considered ideal mineral phases for hydraulic activity. This mixture was added to clinker for cement production. The cement made with this mixture was tested for comparison with the blast furnace slag cement. These results indicate a technical feasibility for manufacturing cement with this mixture.*

**Keywords:** BOF slag, granite sawing waste, cement.

## 1. Introdução

A construção civil é uma das principais áreas de reaproveitamento de resíduos, haja vista sua diversidade de materiais como também a quantidade que é necessária para consumo anualmente, visando a atender a demanda cada vez maior por obras e infra-estrutura. Esse artigo trata do reaproveitamento dos subprodutos, escória de aciaria LD (ELD) e o pó de serragem de granito (RG) para adição ao clínquer utilizado na fabricação de cimento. Estima-se que, para cada tonelada de aço, são gerados entre 300 e 350 kg de escória de alto-forno e entre 100 a 120 kg de escória de aciaria. No ano de 2008, foram produzidas  $33,7 \times 10^6$  toneladas de aço bruto (IBS, 2009), gerando uma média de  $33,07 \times 10^5$  toneladas de escórias. Em 2008, a produção brasileira de rochas ornamentais e a de revestimento totalizaram cerca de 8,0 milhões de toneladas. Estima-se que 70 % dessa produção se-

jam de rochas graníticas e que a geração de resíduos seja de 25 % da produção, totalizando um total de 1,4 milhões de toneladas (ABIROCHAS, 2009).

O desafio que ora se apresenta é desenvolver pesquisas que permitam o reaproveitamento desses resíduos de forma a diminuir seus impactos ambientais e, também, diminuir os custos de produção do cimento e ao mesmo tempo, permitir menor degradação da qualidade ambiental, além de agregar valor. Há grande quantidade disponível desses materiais e cabe salientar, ainda, que sua composição química, com alguns ajustes, pode se aproximar da composição química da escória do alto-forno (EAF), no qual, sua utilização já é amplamente dominada pelas tecnologias existentes. Portanto seu uso na indústria de cimento pode permitir a produção de cimentos que podem conter até 70% (setenta por cento) de sua

massa total, caso do cimento de escória de alto-forno (CEAF).

De acordo com Geyer (1996), diferentemente da escória de alto-forno, que possui uma relação  $\text{CaO/SiO}_2$  variando de 0,9 a 1,2, a utilização da escória de aciaria LD, na fabricação de cimento e de concreto, ainda não é um processo consolidado. Tal fato se deve à alta relação  $\text{CaO/SiO}_2$  presente na composição da escória de aciaria LD (em torno de 4), fazendo com que haja  $\text{CaO}$  livre. A fase  $\text{CaO}$  livre sofre expansão e sua estabilização é lenta, o que pode fazer com que o concreto construído com essa escória sofra fragmentação (Gumieri, 2002). Além disto, o  $\text{CaO}$  livre diminui a vitrificação da escória, que é conseguida, para o caso da escória de alto-forno, através de seu resfriamento em água, prejudicando, ainda, as propriedades do cimento.

## 2. Materiais e métodos

Os materiais utilizados, nessa pesquisa, são a escória de aciaria LD (ELD), o resíduo de granito (RG) gerado no processo de serragem do granito com fio diamantado, clínquer, calcário e gesso, materiais utilizados na fabricação do cimento Portland.

As amostras de escória de aciaria LD e do resíduo de granito foram coletadas, respectivamente, na pilha de estocagem de uma empresa siderúrgica e no tanque de decantação de uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais. Para ambos os resíduos, foi coletada uma quantidade de 100kg, adotando os critérios recomendados pela ABNT NBR 10007/2004. O clínquer, calcário e gesso utilizados na fabricação do cimento Portland foram fornecidos pela empresa Cimento Mizú, também responsável pelo preparo do cimento. Foram realizadas as análises químicas por via úmida dos resíduos separadamente, para ajuste da basicidade da escória de aciaria LD e, posteriormente, realizaram-se o cálculo do balanço de massa e o preparo da composição das misturas. A Tabela 1 apresenta

a composição química dos resíduos.

A caracterização tecnológica proporcionou, a partir de um balanço de massa, uma mistura composta de 100g de ELD e 51g de RG. Sua realização visou a atingir a basicidade de 1,2, que é a mesma da escória EAF. A mistura foi fundida em um forno tubular de resistência de Dissiliceto de Molibdênio, dentro de cadinhos de grafite e argila, sendo a mistura fundida e resfriada.

As amostras foram fundidas na temperatura de  $1500^\circ\text{C}$  por um tempo de 45 minutos, para garantir a completa fusão da mistura. Transcorrido esse tempo, a mistura fundida foi vazada em um recipiente contendo água, para se garantir que a mistura se tornasse amorfa. Outra amostra foi deixada dentro do forno para resfriar, com o objetivo de se verificar a formação das fases Akermanita e Gehlenita.

As misturas produzidas foram analisadas, quimicamente, do mesmo modo que foram analisados os resíduos. Tais resíduos foram submetidos, ainda, à difratometria de raios X (DRX), para se ve-

rificar a formação das fases Akermanita e Gehlenita, para a amostra resfriada ao forno, e para se verificar se a mistura obtida é amorfa, para a amostra resfriada em água.

Com a mistura de ELD e RG fundida e resfriada, foram preparados três tipos de cimentos. As propriedades dos referidos cimentos foram medidas e comparadas com as propriedades do CEAF. Os cimentos produzidos foram:

- **Cimento CM:** cimento obtido com a mistura de ELD com o RG. Esse cimento foi submetido à moagem industrial normal. Essa moagem foi feita na fabricação dos cimentos num tempo de 40 minutos, tendo o calcário e o gesso como adição.
- **Cimento CLD:** cimento obtido apenas com a ELD adicionada ao clínquer sem o RG, que foi submetido à moagem especial num tempo de 58 minutos.
- **Cimento CMII:** cimento obtido com a mistura de ELD e RG. Esse cimento foi submetido à moagem especial num tempo de 58 minutos.

Resíduo	Composição Química (% em massa)												
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO	Fe	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O
Escória Aciaria LD	46	10	1,5	7	27	-	6	0,04	2	-	-	-	-
Resíduo Granito	4,6	59,6	18,1	1,8	-	1,8	0,05	-	-	3,1	3,7	0,92	0,48

Tabela 1

Composição química da escória de aciaria LD e do resíduo de granito.

- **Cimento CEAF:** cimento de alto-forno CP III-32-RS, produzido com a EAF. Esse cimento foi utilizado como padrão, uma vez que o objetivo do trabalho é ajustar a composição química da ELD utilizando-se o RG, de modo a se obter uma mistura com propriedades cimentícias, o que já ocorre com a EAF.

Durante a etapa de produção do cimento, foram observadas algumas dificuldades para sua produção, o que ficou caracterizado pela necessidade de se produzir mais de um tipo de cimento, quando o objetivo inicial era se produzir apenas o cimento CM, para se verificar sua

### 3. Resultados e discussões

#### Composição química da mistura

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise química da mistura produzida e o compara, em forma de óxidos, com a composição química da EAF (John & Agopyan, 2000). De acordo com os dados de análise química da Tabela 2, nota-se que a maior por-

viabilidade técnica. Como o cimento EAF já tem suas propriedades e características amplamente conhecidas, produziu-se o cimento CM, adicionando-se 302g de mistura (ELD + RG) e 302 g de clínquer.

O cimento CEAF teve suas propriedades tomadas como referência para o desenvolvimento do cimento contendo a mistura ELD com o RG. Os cimentos foram submetidos aos testes de área específica, resistência à compressão e expansibilidade, que são as principais propriedades do cimento, segundo as Normas Brasileiras. Para o teste de área específica, foi usada a norma ABNT NBR NM 76/1998 e, para o teste de resistência à

compressão, foi utilizada a norma ABNT NBR 7215/1996.

As outras propriedades características do cimento, tais como perda ao fogo, resíduo insolúvel, trióxido de enxofre, anidrido carbônico, %  $Fe_2O_3$ , % CaO livre, finura, início e fim de pega, massa específica e expansibilidade, foram determinadas de acordo com as seguintes normas, respectivamente: NM 18 (ABNT, 2004), NM 15 (ABNT, 2004), NM 16 (ABNT, 2004), NM 20 (ABNT, 2004), NM 13 (ABNT, 2004), NM 76 (ABNT, 2003), NM11581 (ABNT, 1991) e NM 23 (ABNT, 2001) e NBR 11582 (ABNT, 1991).

centagem dos elementos da escória de aciaria LD, está expressa na forma de óxidos de cálcio e silício, que, juntos, correspondem cerca de 59% da massa da mistura.

Se compararmos as composições químicas da mistura com da escória

de alto-forno, nota-se que o ajuste da composição química da escória LD com o resíduo de granito aproximou as concentrações dos óxidos de cálcio, silício, magnésio e alumina para a faixa dos valores apresentados na escória de alto-forno.

Tabela 2

Análise química da mistura e comparação com a EAF (% em massa).

Materiais	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO	S	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Mistura	32,01	26,76	7,11	5,24	18,44	0,03	3,99	1,32	1,05	1,2	0,31	0,16
Alto-forno*	40-45	30-35	11-18	2,5-9,0	0,0-2,0	0,0-2,0	0,5-1,5	-	-	-	-	-

\* John & Agopyan (2000).

#### Caracterização mineralógica

A Figura 1 apresenta o difratograma para a amostra resfriada em água e a Figura 2 mostra tal difratograma para a amostra resfriada ao forno. Quanto mais rápido for o resfriamento (resfriamento brusco), maior o grau de vitrificação e maiores as potencialidades hidráulicas das escórias. O resfriamento rápido e a consequente obtenção de uma escória amorfa, como já dito, é o primeiro indicativo da viabilidade técnica da utili-

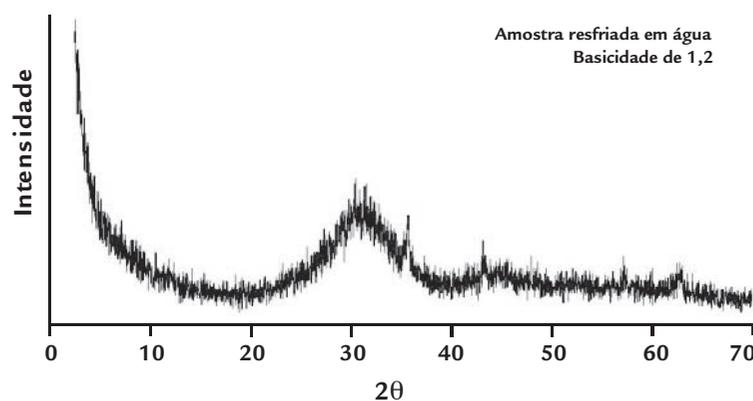
zação de uma escória na fabricação de cimento. Esse processo visa, também, a evitar a decomposição da alita -  $3CaO \cdot SiO_2$ , que é a principal fase do clínquer de cimento Portland.

A Figura 1 mostra que a mistura resfriada em água apresentou uma estrutura amorfa, devido ao seu resfriamento brusco. Com base nesse resultado, pode-se afirmar que a mistura do resíduo de granito e escória de aciaria LD usada no

presente trabalho é viável tecnicamente para ser utilizada na fabricação de cimento, no que se refere à obtenção de um material amorfo.

Outro fator importante para a utilização de uma escória na fabricação de cimento é a formação das fases mineralógicas Akermanita ( $Ca_2Al_2SiO_7$ ) e Gehlenita ( $Ca_2Mg(Si_2O_7)$ ). A hidratação do cimento pode ser considerada como a fase mineralógicas ideal para a atividade hidráulica

Figura 1  
Difratograma da amostra resfriada em água.



ca das escórias (Battagin & Scanduzzi, 1990; Cincotto et al., 1992). A formação anteriormente citada ocorre após a hidratação do CaO e após a formação dos compostos intermediários ( $3CaO.SiO_2$  e  $2CaO.SiO_2$ ). Todo processo se dá a partir da reação do CaO com a  $SiO_2$  do resíduo que libera calor para o sistema.

Esse fenômeno ocorre com a escória de alto-forno, porém não ocorre com a escória de aciaria LD e nem com o resíduo de granito separadamente (Polese et al., 2006). É importante, então, que a mistura desses dois resíduos possibilite a formação dessas fases. Esse fenômeno se

constitui em outro indicativo da viabilidade técnica de sua utilização na fabricação de cimento. A Figura 2 apresenta o difratograma correspondente à amostra resfriada ao forno, identificando a formação das fases Akermanita e Gehlenita.

De acordo com Battagin e Scanduzzi (1990), a presença dessas duas fases é indicativa da atividade hidráulica ideal das escórias, o que aponta, novamente, para a viabilidade técnica da utilização da mistura dos resíduos na fabricação do cimento.

A caracterização microestrutural, mostrada na Figura 3, realizada por

microscópio eletrônico de varredura (MEV), permitiu a observação de aspectos das amostras fundidas, como textura do material, morfologia e distribuição dos compostos. Já a espectrometria a dispersão de energia (EDS) permitiu identificar os elementos químicos identificados pelas fases presentes. A Figura 3 apresenta uma amostra de um grão após fusão. Nessa figura, verifica-se que o grão possui superfície irregular com muita angulosidade, com textura áspera e tamanho aproximado de 20  $\mu m$ . A composição química na região A, mostrada na Figura 3, também é apresentada.

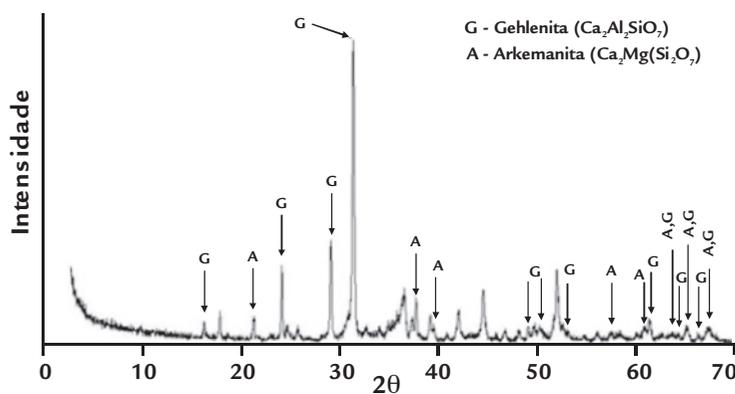
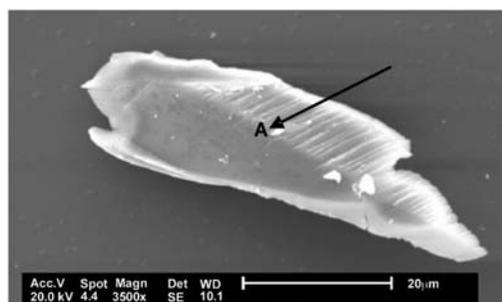


Figura 2  
Difratograma da amostra resfriada ao forno.



Elemento	Elemento (%)	Atômica (%)
O	57,52	74,39
Na	1,26	1,13
Mg	1,46	1,25
Si	16,28	11,99
K	2,04	1,08
Ca	15,20	7,85
Mn	0,96	0,36
Fe	5,29	1,96
Total	100,00	100,00

Figura 3  
Micrografia da amostra resfriada rapidamente e a sua análise química por EDS.

### Análise da variação da área específica e da resistência à compressão

Os valores da área específica, para cada cimento preparado, são mostrados na Tabela 3.

O cimento CM apresentou uma área específica abaixo da estipulada pela norma NBR NM 76 (ABNT, 2003). Essa área deve estar compreendida na faixa de 300 a 450  $m^2/kg$ . Isto ocorreu devido às partículas de aço presentes na escória, que não são moídas facilmente. Essa menor área específica, que significa partículas maiores, comprometeu os valores da resistência à compressão, que

é a mais importante propriedade do cimento, e que, nesse caso, foi de 6,4 MPa para idade de três dias. Já a norma NBR 7215 (ABNT, 1996) exige um mínimo de 10 MPa. Esse cimento obteve valores de resistência à compressão menor que o estabelecido pela norma para todas as idades, conforme mostrado na Tabela 4 e na Figura 4.

Como a menor área específica do cimento CM ocorreu por uma moagem insuficiente da ELD, foi feito o cimento CLD somente com a ELD com um tem-

po maior de moagem. Com essa moagem, o cimento atingiu a área específica determinada pela norma, como mostra a Tabela 3. Como consequência disto, os valores obtidos, para a resistência à compressão, para todas as idades ficaram de acordo com a norma, como mostra a Figura 4.

Porém o aumento do tempo de moagem de 40 para 58 minutos levou a um aumento de 50% no consumo dos corpos moedores e a um consequente aumento do consumo de energia.

Cimento	CEAF	CM	CLD	CMII	Limite*
Área específica ( $m^2/kg$ )	425	265	418	491	300-450
Tempo de moagem (minutos)	40	58	58	58	-

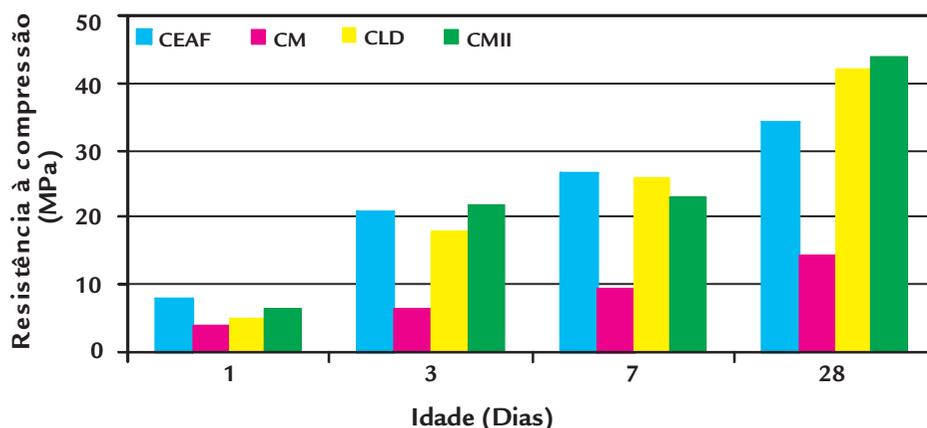
\* NBR NM 76 (ABNT, 2003).

Tabela 3  
Valores da área específica ( $m^2/kg$ ) para cada cimento preparado.

Tabela 4  
Valores de resistência à compressão encontrados e os limites estabelecidos pela NBR 7215 (ABNT, 1996).

Idade	CEAF	CM	CLD	CMII	Limite (MPa)
3 dias	17,1 MPa	6,4 MPa	18 MPa	22 MPa	≥ 10
7 dias	26,9 MPa	9,2 MPa	26 MPa	23 MPa	≥ 20
28 dias	33,3 MPa	14,5 MPa	42 MPa	44 MPa	≥ 32

Figura 4  
Comparação da resistência à compressão dos cimentos. (Valores mínimos estabelecidos pela NBR 7215 (ABNT, 1996): 3 dias ≥ 12MPa; 7 dias ≥ 23MPa e 28 dias ≥ 40 MPa).



Esse aumento no consumo de energia pode ser compensado com a utilização da mistura. Isto porque tanto o RG, como a ELD, são considerados resíduos Classe IIA e as empresas geradoras chegam a gastar até R\$ 200,00 por tonelada para sua disposição. Esses materiais podem, então, ser fornecidos para as empresas processadoras sem custo, ou elas podem recebê-los das empresas geradoras. Entretanto a necessidade de um tempo maior de moagem poderá ser eliminada com uma separação mais eficiente da parte metálica por parte das empresas que fazem esse serviço.

Por último, produziu-se o cimento CMII, usando-se, novamente, a ELD com o RG. Esse cimento foi produzido com o tempo de moagem dos resíduos também de 58 minutos, alcançando a área específica exigida pela norma, mas com um valor maior que a do cimento produzido somente com a escória.

Na análise dos valores obtidos, para as resistências à compressão dos cimentos mostrados na Tabela 4 e na

Figura 4, percebe-se que o cimento CM, que foi fabricado com a mistura com uma área específica abaixo do que determina a norma NBR NM 76 (ABNT, 2003), apresenta valores de resistência à compressão sempre abaixo do que determina a norma NBR 7215 (ABNT, 1996). Porém, quando se aumentou a área específica do cimento, através do aumento no tempo de moagem de 40 para 58 minutos, com uma diminuição na granulometria do cimento, os valores de resistência à compressão atingiram os valores exigidos pela norma para todas as idades e para todos os cimentos preparados com área específica dentro do estabelecido pela norma. Isto ocorreu pelo fato de que uma menor granulometria da matéria-prima faz com que se tenha uma menor quantidade de vazios no material, o que aumenta sua resistência à compressão. Esse fato pode ser comprovado pelos maiores valores de resistência à compressão obtidos pelos cimentos CLD e CMII, que tiveram, também, as maiores áreas específicas.

As outras propriedades do cimento, tais como perda ao fogo, resíduo insolúvel, trióxido de enxofre, anidrido carbônico, % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % CaO livre, finura, início e fim de pega, massa específica, e expansibilidade, ficaram dentro dos limites estabelecidos pelas normas. Essas propriedades foram medidas e comparadas de acordo com as seguintes normas, respectivamente: NM 18 (ABNT, 2004), NM 15 (ABNT, 2004), NM 16 (ABNT, 2004), NM 20 (ABNT, 2004), NM 13 (ABNT, 2004), NM 76 (ABNT, 2003), NBR11581 (ABNT, 1991) e NM 23 (ABNT, 2001) e NBR 11582(ABNT, 1991).

Esses resultados indicam a viabilidade técnica da utilização da mistura feita com a ELD e o RG na fabricação de cimento. O custo maior que este cimento poderia ter, devido ao maior tempo de moagem e da necessidade de fusão da mistura, poderá ser compensado pelo fato de os dois resíduos não terem custo, ou a empresa poderá até mesmo receber para usá-los dos geradores.

#### 4. Conclusões

De acordo com as condições usadas e os resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- As misturas dos resíduos que foram resfriadas em água apresentaram uma estrutura amorfa.
- As misturas dos resíduos que foram resfriadas lentamente (no forno) formaram os compostos Akermanita e Gehlenita.
- A presença de Akermanita e Gehlenita, para o resfriamento lento, confirma que a mistura pode ser

utilizada na indústria do cimento por conter as fases mineralógicas ideais para a atividade hidráulica das escórias.

- As partículas de aço presente na ELD diminuem a área específica do cimento fabricado, diminuindo, também, a resistência à compressão.
- A adequação dos valores de superfície específica do cimento para os estabelecidos pela norma faz com que a resistência à compressão também atinja os valores determi-

nados pela norma.

- A área específica é o principal fator que influencia na resistência à compressão.
- A adição do resíduo de granito diminui a expansibilidade da escória de aciaria.
- O ajuste da composição química da escória de aciaria através da adição de resíduo de granito mostrou-se eficiente, indicando a sua viabilidade técnica na adição do clínquer de cimento Portland.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Cimento Mizu unidade Vitória e a ArcelorMittal Tubarão.

## 6. Referências bibliográficas

- ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Situação atual e perspectivas brasileiras no setor de rochas ornamentais. *Informe nº 2*. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5735: Norma Brasileira para cimento Portland de alto-forno*. Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. *NBR 11581: Norma Brasileira de Regulamentação. Determinação de início e fim de pega*. Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. *NBR 11582: Norma Brasileira de Regulamentação. Determinação da expansibilidade "Le Chatelier"*. Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. *NBR 7215: Norma Brasileira de Regulamentação. Cimento Portland. Resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. *NBR 10007: Norma Brasileira para amostragem de resíduo*. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 13: Norma MERCOSUL para óxido de cálcio livre*. Montevidéu, 2004.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 15: Norma MERCOSUL para resíduo insolúvel*. Montevidéu, 2004.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 16: Norma MERCOSUL para anidrido sulfúrico*. Montevidéu, 2004.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 18: Norma MERCOSUL para perda ao fogo*. Montevidéu, 2004.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 20: Norma MERCOSUL para anidrido carbônico*. Montevidéu, 2004.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 76: Norma MERCOSUL para superfície específica*. Montevidéu, 2004.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 23: Norma MERCOSUL para massa específica*. Montevidéu, 2004.
- BATTAGIN, A. F., SCANDIUZZI, L. *A utilização da escória granulada de alto-forno como agregado miúdo*. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1990. (Boletim nº 35).
- CINCOTTO, M. A., BATTAGIN, A. F., AGOPYAN, V. Caracterização da escória granulada de alto-forno e seu emprego como aglomerante e agregado. *Boletim do IPT*, São Paulo. n. 65. 1992.
- IBS. Relatório de sustentabilidade 2009. Biblioteca, Instituto Brasileiro de Siderurgia, Brasil, 2009. Disponível em: <[http://www.ibs.org.br/balanco\\_social2.asp](http://www.ibs.org.br/balanco_social2.asp)>. Acesso em 14/03/2010.
- GEYER, T. R., DAL MOLIN, D., VILELA, A. C. F. Possibilidades e fatores limitantes da reutilização de escórias de aciaria na construção civil. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 51. *Anais...* Porto Alegre: 1996, v. 4, p. 305-314.
- GUMIERI, A. G. *Estudo da viabilidade técnica da utilização de escórias de aciaria do processo ld como adição em cimentos*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pós Graduação em Engenharia Civil, 2002. 226 p. (Tese de Doutorado em Engenharia).
- JOHN, V. M., AGOPYAN, V. Reciclagem de escória de alto-forno no Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS. São Paulo: SEMA-SP/FIESP/CETESB, 2000.
- POLESE, M. O., RODRIGUES, G. L. C., SILVA, M. R. Caracterização microestrutural da escória de aciaria. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 444-454, 2006.

---

Artigo recebido em 02 de agosto de 2011. Aprovado em 22 de novembro de 2011.