



# ADEQUAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DE ACIARIA LD PARA A FABRICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND<sup>1</sup>

Luiz Alberto Baptista Pinto Junior<sup>2</sup>  
Felipe Fardin Grillo<sup>3</sup>  
Lúcio Flávio Arrivabene<sup>4</sup>  
Estéfano Aparecido Vieira<sup>5</sup>  
Jorge Alberto Soares Tenório<sup>6</sup>  
José Roberto de Oliveira<sup>7</sup>

## Resumo

Este estudo aborda sobre a viabilidade técnica do aproveitamento de resíduo proveniente do corte de granito para ajustar a composição química da escória de aciaria LD visando à adição no clínquer de cimento Portland. Para isso, foram realizadas a caracterização química dos resíduos e obtenção da relação  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  em torno de 0,9 e 1,2 para escória de aciaria LD. Foram selecionadas amostras dos resíduos, misturadas, fundidas e resfriadas em água e ao forno. Nas amostras resfriadas em água, após a análise no difratograma de raios-X, se apresentaram predominantemente amorfo. Para as amostras resfriadas ao forno, que se apresentaram cristalinas, observou-se a presença das fases mineralógicas akermanita e gehlenita, que são consideradas as fases mineralógicas ideais para a atividade hidráulica das escórias. O ajuste da composição química da escória de aciaria LD através da adição de resíduo de granito mostrou-se eficiente, indicando a sua viabilidade técnica para a fabricação de clínquer de cimento Portland.

**Palavras-chave:** Escória de aciaria LD; Resíduo de granito; Cimento Portland.

## RECOVERY OF WASTE CUTTING OF GRANITE AND STEEL WORKS SCORES FROM LD FOR PRODUCTION OF PORTLAND CEMENT

### Abstract

This study focuses on the technical feasibility of utilization of waste from the cutting of granite to adjust the chemical composition of slag from steelworks LD targeting the addition of clinker Portland cement. For that, were the chemical characterization of waste and achieve the relationship  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  around 0,9 to 1,2 for the steelworks slag. We selected samples of the waste, mixed, melted and cooled in water and in the oven. Samples cooled in water, after examining the diffractogram X-ray, had been predominantly amorphous. For samples cooled in the furnace, which had vitreous, there was the presence of mineralogical phases akermanita and gehlenita, which are considered as the ideal stage for the mineral water activity of the slag. The adjustment of the chemical composition of slag from steel works by the addition of waste granite was efficient, transforming the waste into a product, that's the same for blast furnace slag can be used in the manufacture of cement.

**Key words:** LD of steelworks slag; Residue of granite; Portland cement.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Aciaria – Internacional, 23 a 26 de maio de 2010, Resende, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia de Metalúrgica e Materiais do PROPEMM- IFES, Engenheiro Ambiental e Tecnólogo em Processos Metalúrgicos.

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Metalúrgica e Materiais do PROPEMM-IFES e Tecnólogo em Processos Metalúrgicos.

<sup>4</sup> MSc em Engenharia Ambiental Professor do Depto de Metalurgia e de Materiais do IFES.

<sup>5</sup> Dr. em Engenharia Metalúrgica e Professor do Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais do IFES.

<sup>6</sup> Dr. em Engenharia Metalúrgica e Professor do Depto. De Eng. Metalúrgica e de Materiais da USP.

<sup>7</sup> Dr. em Engenharia Metalúrgica e Coordenador do Programa de Pós- Graduação em Engenharia Metalurgia e de Materiais- PROPEMM-IFES.



## 1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho foi estudada a viabilidade técnica do aproveitamento de resíduo proveniente do corte de granito para ajustar a composição química da escória de aciaria LD visando à adição no clínquer de cimento Portland. Para isso, foram realizadas a caracterização química dos resíduos, atingir a relação  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  em torno de 0,9 e 1,2 para escória de aciaria, e verificar a formação de fases mineralógicas ideais para a atividade hidráulica das escórias.

Diferentemente da escória de alto-forno, a utilização da escória de aciaria LD na fabricação de certos produtos, ainda é um obstáculo a ser superado. Tal fato se deve a alta relação  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  presente na composição da escória de aciaria LD (em torno de 4), fazendo com que haja  $\text{CaO}$  livre.<sup>(1)</sup>

O resíduo de granito possui alto teor de sílica, portanto uma nova rota para o seu aproveitamento pode estar no ajuste da composição química da escória de aciaria LD. O ajuste de composição pôde ser realizado através da adição do resíduo de granito, que possui cerca de 60% de  $\text{SiO}_2$  e 4%  $\text{CaO}$ , na escória de aciaria LD, que possui aproximadamente 45%  $\text{CaO}$  e 11% de  $\text{SiO}_2$ , e do resfriamento rápido desta mistura em água a fim de tornar a nova escória formada vítrea, que é outro requisito básico para utilização da escória na fabricação de cimento.

Outro impasse na utilização do resíduo de granito como adição na escória é o seu elevado teor de ferro, proveniente da granalha e das serras usadas no corte dos blocos, este teor pode chegar até 21%, que segundo Cruz et al.,<sup>(2)</sup> a oxidação do  $\text{FeO}$  também pode prejudicar as propriedades do cimento se presente em teores acima de 4%, sendo necessário submeter a uma separação magnética, para a eliminação do ferro.

Para Machado,<sup>(3)</sup> a composição química das escórias de aciaria é semelhante ao do cimento Portland, podendo ser utilizados para compor a matéria-prima da produção do clínquer. Entretanto os teores dos elementos expressos em forma de óxidos presentes, isto é,  $\text{Si}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , são consideravelmente diferentes.

Segundo Cruz et al.,<sup>(2)</sup> os constituintes indesejáveis nos agregados de escória são o silicato dicálcico ( $\text{C}_2\text{S}$ ), os sulfetos e o elevado teor de ferro. No entanto, como já mencionado, a transformação do silicato dicálcico da forma  $\beta$  para  $\gamma$  conduz à expansão e desintegração da escória. Entretanto, este fenômeno apenas ocorre para elevados teores de cal e, portanto a sua presença deve ser controlada através da relação  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ , que relaciona a basicidade da escória.

Devido aos elevados teores de  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$  e baixos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na escória de aciaria LD, as condições para fabricação de cimento Portland não são satisfeitas, uma eventual utilização desse rejeito na fabricação de tais materiais de construção civil deve incluir a redução parcial dos óxidos instáveis e a adição de agentes estabilizantes do  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  livres, tais como  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , até níveis compatíveis com a composição do clínquer ou a escória de alto-forno.<sup>(2)</sup>

Entretanto, um ajuste de composição química e conseqüente ajuste da basicidade, tão expressivo como o citado, seria possível através da adoção de algum processo pirometalúrgico que permitisse a redução dos óxidos instáveis  $\text{FeO}$  e  $\text{MgO}$  e a dissolução dos óxidos estabilizantes como  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , além da separação das partículas metálicas ou formadas na redução.<sup>(2)</sup>

Os resíduos provenientes do beneficiamento do granito são constituídos em sua maior parte por compostos químicos, expressos na forma de óxidos: sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), seguidos pela cal ( $\text{CaO}$ ) e óxidos alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ). Também podem ser encontrados significativos teores de óxidos de ferro, mas o seu papel



durante o processamento não é tão importante, sendo fundentes somente a altas temperaturas.<sup>(4)</sup>

A presença das fases mineralógicas akermanita e gehlenita, são consideradas como as fases mineralógicas ideais para a atividade hidráulica das escórias.<sup>(5)</sup> No entanto, em estudos realizados por Polese, Rodrigues e Silva<sup>(6)</sup> e por Moreira, Freire e Holanda<sup>(7)</sup> na caracterização da escória de aciaria LD e do resíduo de granito, respectivamente, não foram identificados a presença das fases mineralógicas Akermanita e gehlenita.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

As etapas para a realização deste trabalho foram:

- caracterização química da escória de aciaria LD e do resíduo de granito;
- balanço de massa e preparo da composição das misturas;
- processo de fusão das misturas; e
- caracterização dos produtos.

### 2.1 Caracterização Química da Escória de Aciaria LD e do Resíduo de Granito

Foram realizadas as análises químicas dos resíduos separadamente, para ajuste da basicidade da escória de aciaria LD e conseqüente calculo do balanço de massa e preparo da composição das misturas.

A análise química da escória de aciaria LD foi realizada nos laboratórios da empresa Arcelor Mittal Tubarão, onde foram encontrados os seguintes resultados para a composição em massa: CaO=46,0%; MgO=7,0%; SiO<sub>2</sub>=10,0%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=1,5%; MnO=6,0%; FeO=27,0% e S=0,04%..

A análise química do resíduo de granito foi realizada no Laboratório de Química Analítica da CELQA – Análises Técnicas Ltda., onde foram encontrados os seguintes resultados para a composição em massa: CaO=4,6%; MgO=1,8%; SiO<sub>2</sub>=59,6%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=18,1%; MnO=0,05%; Fe=1,8% e Na<sub>2</sub>O=3,1%; K<sub>2</sub>O=3,7%; TiO<sub>2</sub>=0,92 e B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=0,48.

### 2.2 Balanço de Massa e Preparo da Composição das Misturas

As proporções utilizadas na mistura entre escória de aciaria LD e resíduo de granito foram realizadas com o intuito de se obter as basicidades de 0,9 e 1,2. As proporções utilizadas para compor a relação CaO/SiO<sub>2</sub> requerida para a realização deste estudo, está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Cálculo da massa de escória de aciaria e resíduo do corte de granito

Massa da escória (g)	Massa do granito (g)	Massa CaO	Massa SiO <sub>2</sub>	% CaO na escória (fixa)	% SiO <sub>2</sub> na escória (fixa)	Massa de CaO (mistura)	Massa de SiO <sub>2</sub> (mistura)	Basicidade (CaO/SiO <sub>2</sub> )
100,00	51,00	2,35	30,40	46,00	10,00	48,35	40,40	1,20
100,00	75,00	3,45	44,70	46,00	10,00	49,45	54,70	0,90

Para o balanço de massa, fixou-se uma quantidade de 100g de escória de aciaria LD para ambas as basicidades e utilizou-se uma quantidade de resíduo de granito para ajustar a composição química da escória e conseqüente ajuste da basicidade. Com base nas quantidades (em massa) de resíduo de granito, foram somadas as porcentagens de CaO e SiO<sub>2</sub>, conforme análise química dos resíduos,



estabelecendo a soma das massas de CaO e SiO<sub>2</sub> para cada basicidade, e em seguida, procedeu ao cálculo do balanço de massa por meio da relação CaO/SiO<sub>2</sub>.

### **2.3 Processo de Fusão das Misturas**

Para os ensaios de fusão foi utilizado um forno tubular Flyever – Modelo FE50RP Controlador, com capacidade de aquecimento de até 1600°C. As amostras de cerca de 14,0 gramas da mistura dos resíduos foram introduzidas em um cadinho de alumina, que por sua vez, foram colocados em um cadinho de carbono para introduzi-lo ao forno.

A velocidade de aquecimento imposta para a fusão da mistura foi de 1°C/min entre a faixa de temperatura de 25–800°C, e de 5°C/min na faixa de temperatura de 800–1.500°C, mantendo-se nesta temperatura máxima por um tempo aproximado de 45 minutos, que são suficientes para garantir a completa fusão da mistura.

### **2.4 Caracterização dos Produtos**

Os produtos provenientes do resfriamento ao forno e em água para as duas basicidades estabelecidas foram submetidos a ensaios de caracterização para verificar-se ocorreu a formação das fases mineralógicas ideais para a atividade hidráulica das escórias, que permitem a utilização da escória como adição ao clínquer de cimento Portland, usando as seguintes técnicas de Difractometria de raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectrometria a dispersão de energia (EDS).

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.**

### **3.1 Caracterização Física dos Resíduos**

As curvas da Análise Térmica Diferencial (DTA) das Figuras 1 e 2, para a escória de aciaria LD e resíduo de granito, respectivamente, representam os registros da temperatura de acordo com o tempo em que a amostra foi submetida e os picos ascendentes caracterizam os eventos exotérmicos e os descendentes os endotérmicos, conforme identificados pela linha em vermelho. A linha em verde representa a taxa de aquecimento e resfriamento imposta para a análise. Verifica-se que não existe uma simetria para o aquecimento e resfriamento da amostra (linha vermelha), isto nos leva a dizer que, com a fusão da amostra, as fases presentes inicialmente a temperaturas mais baixas não são as mesmas formadas após o resfriamento a mesma temperatura, indicando alterações de fases presentes.

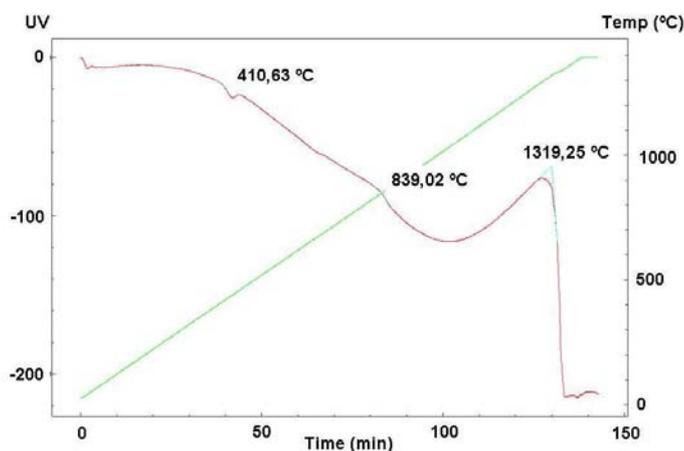


Figura 1. Curva DTA para a escória de aciaria LD.

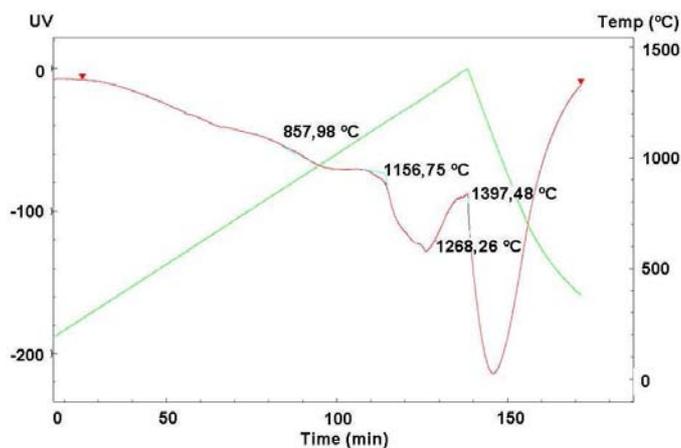


Figura 2. Curva DTA para o resíduo de granito.

### 3.2 Caracterização Química

A Tabela 2 apresenta a porcentagem em massa de alguns dos elementos presentes na mistura para as basicidades de 0,9 e 1,2, a partir do somatório da composição química dos elementos obtidos separadamente e expressos na forma de óxidos, e faz um comparativo com a composição química da escória de alto forno.

**Tabela 2.** Análise química da mistura e comparação com a escória de alto forno<sup>(9)</sup>

Elemento	Composição Química (% em massa)			
	Escória de Aciaria LD + resíduo de granito		Escória de Alto Forno*	
	Basicidade de 0,9	Basicidade de 1,2	Escória Ácida	Escória Básica
CaO	28,26	32,02	24 - 39	40 - 45
SiO <sub>2</sub>	31,26	26,75	38 - 55	30 - 35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,62	7,11	8 - 19	11 - 18
MgO	4,77	5,25	1,5 - 9,0	2,5 - 9,0
FeO	16,12	18,44	0,4 - 2,5	0,0 - 2,0
S	0,02	0,03	0,2 - 1,5	0,0 - 2,0
MnO	3,45	3,99	0,03 - 0,20	0,5 - 1,5

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, nota-se que a maior porcentagem dos elementos da escória de aciaria LD, está expressa na forma de óxidos de cálcio e silício, que juntos correspondem em torno de 59% da massa da mistura. O ajuste da composição química da escória de aciaria LD (com valores



elevados de CaO) por meio da adição do resíduo de granito alterou a composição química da mistura, elevando a concentração de SiO<sub>2</sub>.

Se compararmos as composições químicas da mistura dos resíduos, com a escória de alto forno, nota-se que o ajuste da composição química da escória LD com o resíduo de granito ajustou as concentrações dos óxidos de cálcio, silício, magnésio, alumina e enxofre para a faixa dos valores apresentados na escória de alto forno.

### 3.3 Caracterização mineralógica

Segundo metodologia utilizada na realização dos ensaios, descritos no item 2 referente aos materiais e métodos, foi realizado o resfriamento em água e ao forno das amostras de resíduos. As Figuras 3 e 4 apresentam os difratogramas obtidos nas análises de difração de raios-x correspondentes as amostras resfriadas em água para as basicidades de 0,9 e 1,2, respectivamente.

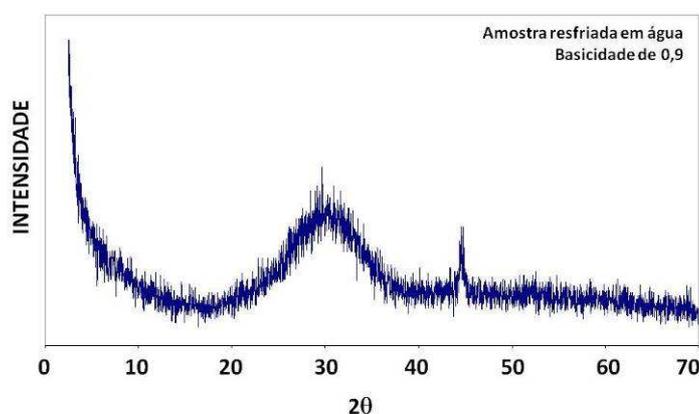


Figura 3. Difratograma da amostra resfriada em água com basicidade de 0,9.

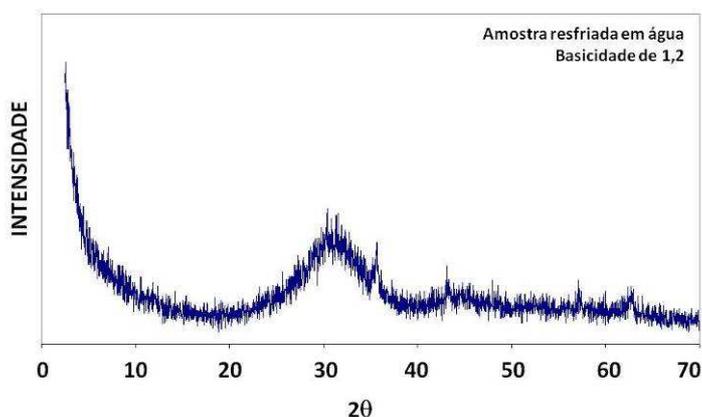


Figura 4. Difratograma da amostra resfriada em água com basicidade de 1,2.

Para as amostras resfriadas em água, ambas apresentaram estado amorfo. Este estado amorfo está relacionado ao processo de resfriamento brusco da mistura de escória de aciaria LD e resíduo de granito. Em estudos realizados por Arrivabene<sup>(8)</sup> em escória de alto forno, por meio de análises em DRX, verificou-se que a análise não revelou a presença de produtos cristalinos, apenas o halo vítreo nas proximidades dos 30° (2θ).

No difratograma de raios X, da Figura 3 e 4, verifica-se que a análise não revelou a presença de produtos cristalinos, apenas o halo vítreo nas proximidades dos 30° e

44° ( $\theta$ ) na amostra de basicidade de 0,9 e um halo vítreo nas proximidades dos 31° ( $2\theta$ ) na amostra de basicidade de 0,9.

As misturas de escória LD e resíduo de granito visam atingir a composição do clínquer de cimento Portland. O resfriamento rápido, tal qual na produção de clínquer de cimento Portland, visa evitar a decomposição da alita -  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  que é a principal fase do clínquer de cimento Portland. A transferência da escória e mais o processo de adição devem fazer com que haja uma queda da temperatura da massa, todavia o diagrama ternário  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$  mostra uma queda da temperatura *liquidus* na medida que se passa da composição da escória para a composição do clínquer, tanto que na produção de clínquer de cimento as temperaturas em fornos rotativos são em torno de 1400°C. Outro fator a ser considerado é que o resíduo de granito tem tamanho de partícula bastante fino o que torna a reação bastante rápida, além disso, a formação dos compostos intermediários ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  e  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) a partir da reação do  $\text{CaO}$  com a  $\text{SiO}_2$  do resíduo libera calor para o sistema.

As Figuras 5 e 6 apresentam os difratogramas obtidos nas análises de difração de raios-x correspondentes as amostras resfriadas ao forno para as basicidades de 0,9 e 1,2, respectivamente.

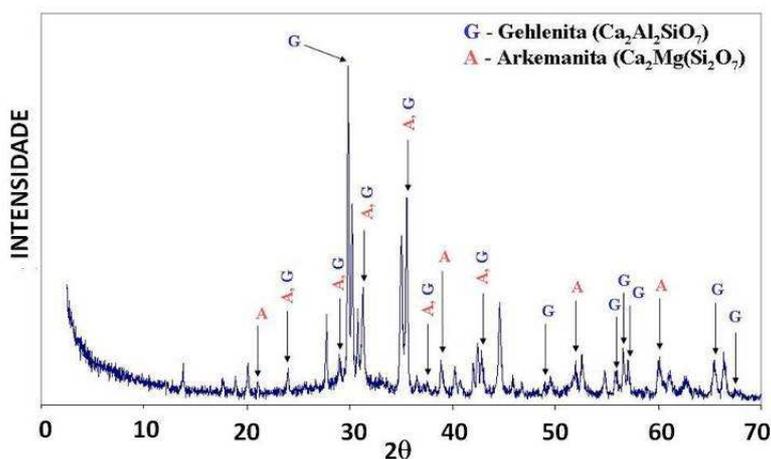


Figura 5. Difratograma da amostra resfriada ao forno com basicidade de 0,9.

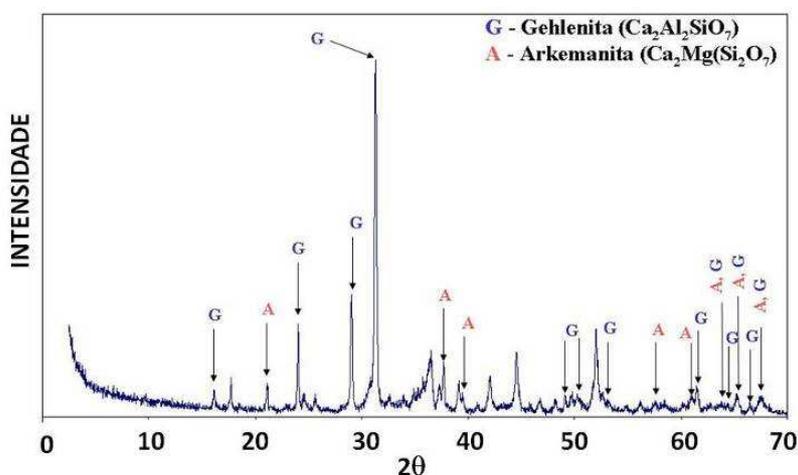


Figura 6. Difratograma da amostra resfriada ao forno com basicidade de 1,2.

Submeteu-se esta escória a um ciclo térmico e posterior resfriamento lento, onde todas as amostras resfriadas ao forno apresentaram estado cristalino. Este estado



crystalino se deve ao fato de estar relacionado ao processo de resfriamento lento (ao forno) das amostras. Pode-se observar que os compostos foram basicamente os mesmos, variando a intensidade dos picos para todas as amostras.

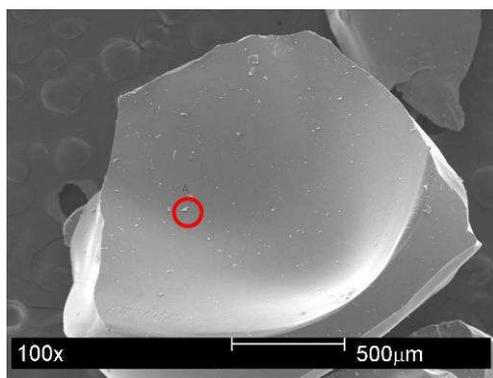
Conforme os difratogramas apresentados nas Figuras 5 e 6 foram identificados a presença das fases mineralógicas akermanita e gehlenita, variando somente a intensidade dos picos. Estes compostos são os mesmos encontrados nas escórias de alto-forno, corroborando com os resultados descritos por Battagin e Scanduzzi,<sup>(5)</sup> onde estas duas fases são consideradas como sendo a fase ideal para a atividade hidráulica das escórias. Estas mesmas fases foram identificadas em estudos realizados por Arrivabene.<sup>(8)</sup>

A presença destas fases mineralógicas, ocorreu devido ao acerto da composição química da escória de aciaria LD com o resíduo de granito, ajustando sua basicidade para valores similares aos encontrados para a escória de alto-forno, o que corrobora com o descrito por Cruz *et al.*,<sup>(2)</sup> da necessidade de ajuste da composição química da escória do processo LD que permitisse a redução dos óxidos instáveis FeO e MgO e a dissolução dos óxidos estabilizantes como SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e por Polese, Rodrigues e Silva<sup>(6)</sup> devido as suas limitações, em função da expansibilidade, decorrente da presença, principalmente, de óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO) livre.

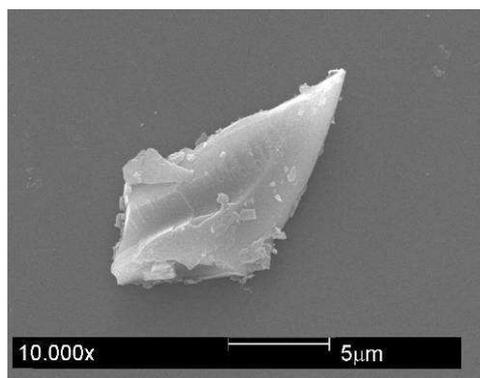
### 3.4 Caracterização Microestrutural

Na caracterização microestrutural realizada através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) permitiu a observação de aspectos das amostras como textura do material, morfologia e distribuição dos compostos, e a espectrometria a dispersão de energia (EDS) permitiu confirmar as fases presentes por meio da confirmação dos elementos presentes. Foram realizadas análises para as amostras resfriadas rapidamente (em água) e lentamente (ao forno) para todas as basicidades estipuladas.

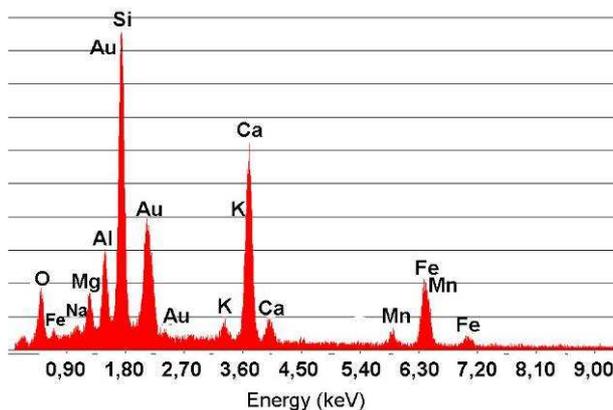
Nas Figuras 7 e 8 estão apresentadas as micrografias da amostra resfriada em água com basicidade de 0,9, e a Figura 9 apresenta a análise por EDS realizada em um dos pontos da amostra, conforme região demarcada no MEV.



**Figura 7.** Micrografia da amostra com basicidade de 0,9 resfriada rapidamente, demarcando a região (A) submetida à análise por EDS. Aumento de 100x.



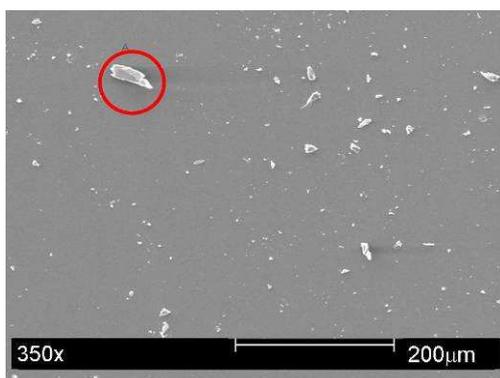
**Figura 8.** Micrografia da região demarcada na figura anterior e submetida à análise por EDS. Aumento de 10.000x.



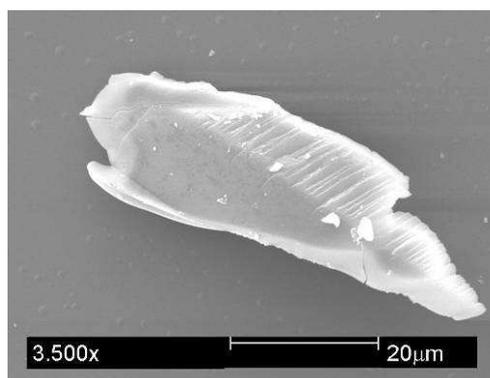
**Figura 9.** Análise indicativa por MEV/EDS da amostra resfriada rapidamente com basicidade de 0,9.

Através da microscopia da amostra em que foi realizado resfriamento em água, observou-se uma textura homogênea na Figura 7 submetida a um aumento de 100x, e na microscopia da Figura 8 com um aumento de 10.000x, observou-se um grão delimitando um formato de folha. A análise do EDS (Figura 9) apresentou uma alta concentração de Silício (Si) e de Cálcio (Ca), já esperada, pois a porcentagem destes elementos na escória são os mais elevados.

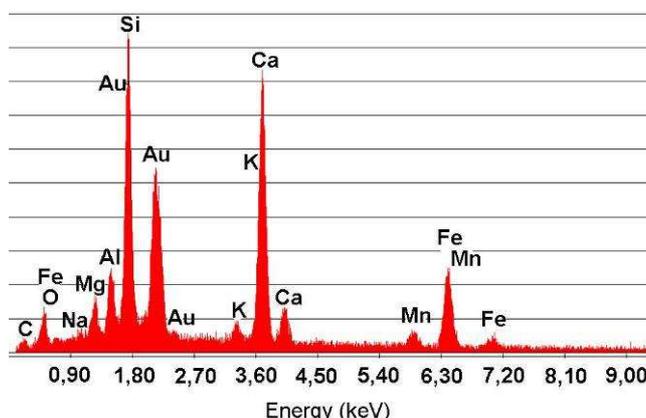
Nas Figuras 10 e 11 estão apresentadas as micrografias da amostra resfriada rapidamente em água com basicidade de 1,2, e a Figura 12 apresenta a análise por EDS realizada em alguns pontos da amostra, conforme região demarcada no MEV.



**Figura 10.** Micrografia da amostra com basicidade de 1,2 resfriada rapidamente, demarcando a região (A) submetida à análise por EDS. Aumento de 350x.



**Figura 11.** Micrografia da região demarcada na figura anterior e submetida à análise por EDS. Aumento de 3.500x.

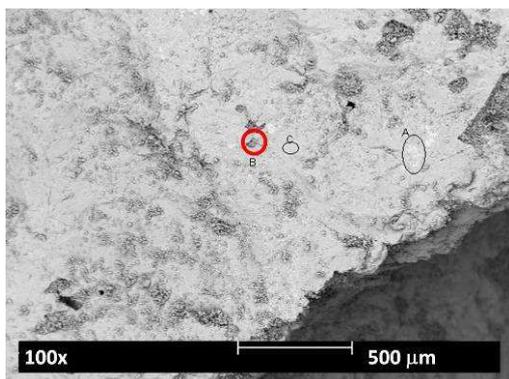


**Figura 12.** Análise indicativa por MEV/EDS da amostra resfriada rapidamente com basicidade de 1,2.

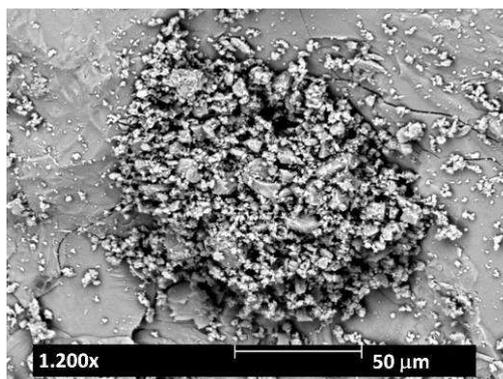


Na microscopia apresentada na Figura 11, observou-se na região A, com um aumento de 3.500x, um grão com contorno amorfo e fragmentado. Para a análise em EDS apresentada na Figura 12, foram identificados os elementos característicos da amostra, cálcio e silício.

Nas Figuras 13 e 14 estão apresentadas as micrografias da amostra resfriada lentamente com basicidade de 0,9, e a Figura 15 apresenta a análise por EDS realizada em alguns pontos da amostra, conforme região demarcada no MEV.



**Figura 13.** Micrografia da amostra com basicidade de 0,9 resfriada ao forno. Aumento de 100x.

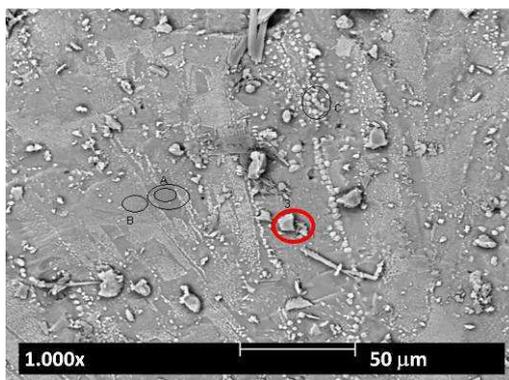


**Figura 14.** Micrografia da região (B) demarcada na figura 53 e submetida à análise por EDS. Aumento de 1.200x.

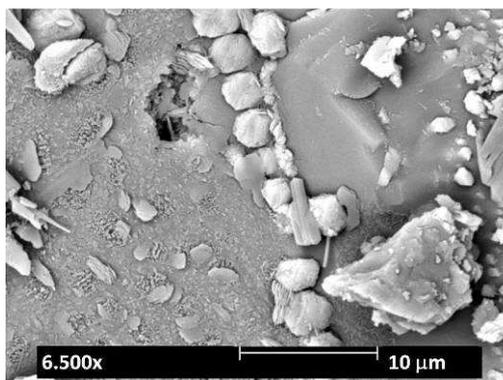
**Figura 15.** Análise indicativa por MEV/EDS na região (B) da amostra resfriada lentamente e com basicidade de 0,9.

Através da microscopia da amostra realizada depois do resfriamento lento ao forno, observou-se uma textura heterogênea na Figura 13 submetida a um aumento de 100x, e na microscopia da Figura 14 com um aumento de 1.200x, observou-se um precipitado em alto relevo.

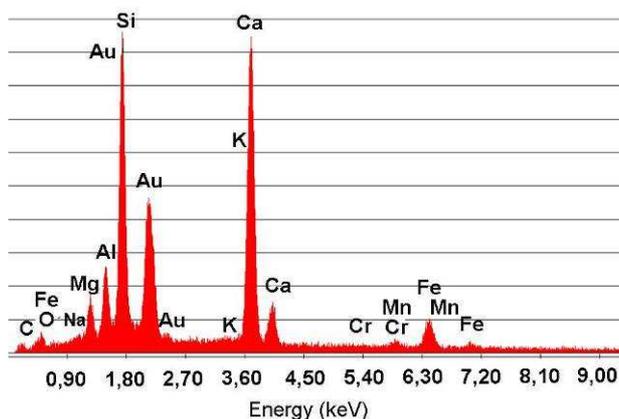
Nas Figuras 16 e 17 estão apresentadas as micrografias da amostra resfriada lentamente com basicidade de 1,2, e a Figura 18 apresenta a análise por EDS realizada em alguns pontos da amostra, conforme região demarcada no MEV.



**Figura 16.** Micrografia da amostra com basicidade de 1,2 resfriada lentamente, demarcando a região (A) submetida à análise por EDS. Aumento de 100x.



**Figura 17.** Micrografia da região (A) demarcada na figura anterior e submetida à análise por EDS. Aumento de 6.500x.



**Figura 18.** Análise indicativa por MEV/EDS na região (A) da amostra resfriada lentamente com basicidade de 1,2.

Através da microscopia da amostra realizada depois do resfriamento ao forno, observou-se na Figura 16 submetida a um aumento de 100x, uma estrutura com particulados desorientados e na microscopia da Figura 17 (Região A) com um aumento de 6.500x, observaram-se particulados amorfos.

Em análises de MEV realizadas por Arrivabene <sup>(8)</sup> em uma amostra cristalina de escória de alto forno granulada moída, apresentou textura semelhante à análise em MEV da escória de aciaria LD com composição química ajustada por meio da adição do resíduo de granito, obtendo-se dimensões de partículas na faixa de 10 a 80  $\mu\text{m}$ .

#### 4 CONCLUSÃO

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

- os compostos que foram resfriados em água, apresentaram predominantemente amorfos;
- observou-se a presença das fases mineralógicas akermanita e gehlenita, que são consideradas as fases mineralógicas ideais para a atividade hidráulica das escórias;
- a mistura realizada entre a escória de aciaria LD com o resíduo de granito ajustou a composição química da escória para valores dentro dos limites estabelecidos para a composição da escória de Alto Forno, indicando a sua viabilidade técnica na fabricação de cimento Portland; e
- os elevados teores de ferro na amostra da escória de aciaria LD, indicam a necessidade de separação magnética para diminuir a concentração deste elemento na mistura.

#### Agradecimentos

A FAPES - Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, IFES – Instituto federal do Espírito Santo, USP – Universidade de São Paulo, Arcelor Mittal Tubarão e Brasigran.



## REFERÊNCIAS

- 1 GEYER, T. R., DAL MOLIN, D., VILELA, A. C. F., Possibilidades e fatores limitantes da reutilização de Escórias de Aciaria na Construção Civil, In: Anais do 51º Congresso anual da ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Pp.305-314. v.4. Porto Alegre. 1996.
- 2 CRUZ E. B. et.al. Tratamento pirometalúrgico de escórias de aciaria a oxigênio destinado á construção civil e fluxos de refino. 2000.
- 3 MACHADO, A. T. Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, USP, São Paulo, Brasil, 2000.
- 4 SILVA, J. B. et al. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. Cerâmica, v.51, n.320, p.325-330, 2005.
- 5 BATTAGIN, A. F.; SCANDIUZZI, L. A utilização da escória granulada de alto forno como agregado miúdo. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 1990. Boletim nº 35.
- 6 POLESE, M. O., RODRIGUES, G. L. C., SILVA, M. R., Caracterização microestrutural as Escória de Aciaria. In: Revista Matéria, Rio de Janeiro, v.11, n.4, pp. 444-454, 2006.
- 7 MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de Resíduo de Serragem de Granito Proveniente do Estado do Espírito Santo em Cerâmica Vermelha, Cerâmica, v. 49, n. 312, pp. 262-267, 2004.
- 8 ARRIVABENE, L. F. Uma contribuição ao estudo de utilização da escória de alto forno bruta e granulada para a produção de concretos. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental- UFES. Vitória, 2000.
- 9 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.