

## **CARACTERIZAÇÃO DE PLUGUES REFROTÁRIOS UTILIZADOS NA HOMOGEINIZAÇÃO DE AÇO EM ACIARIA**

*R. T. da Cruz; G. F. Pelisser, J. Mattiello, L.R. Marques, S.R. Bragança*

*Universidade Federal do Rio Grande Sul – DEMAT/UFRGS*

*Av. Osvaldo Aranha 99/705 Porto Alegre-RS 90035-190*

*saulorb@ufrgs.br*

### **RESUMO**

*Os diversos tipos de plugues refratários existentes no mercado se diferenciam quanto ao design, como plugues porosos e plugues com canais (slits), mas também existem diferenças significativas na qualidade dos materiais que compõem esses refratários. No presente estudo, dois plugues, de fornecedores distintos, foram caracterizados quanto a sua composição química, fases presentes e microestrutura. Embora projetados para desempenhar a mesma função, os dois materiais apresentaram diferente performance em serviço. Baseando-se na caracterização dos materiais novos, observou-se que a peça produzida com material tipicamente de elevada refratariedade e maior pureza, apresentou melhor desempenho. Testes com os materiais post-mortem mostraram diferentes causas de falhas na prática industrial.*

*Palavras-chaves: refratários, plugues, aciaria*

### **INTRODUÇÃO**

O sistema para injeção de gases inertes em panelas de aço é utilizado para agitação e homogeneização do aço, sendo fundamental para o refino e, conseqüentemente, 'limpeza' do aço. Por este motivo, essa operação se convencionou chamar de

rinsagem. Esta utiliza uma peça refratária responsável pela introdução do gás em bolhas pequenas, a qual é denominada plugue ou plugue de rinsagem.

Os principais problemas operacionais relacionados aos plugues são a não rinsagem ou deficiência de rinsagem, os quais levam a dificuldades nas operações metalúrgicas e perdas de produtividade. Esses fatores podem estar relacionados a falhas de limpeza da face do plugue, queda de pressão no gás de rinsagem e trincas decorrentes de choque térmico.

Os plugues podem falhar por entupimento e/ou surgimento de trincas, as quais podem levar à infiltração de aço e posterior entupimento, ou a variações na pressão de rinsagem. Estas podem estar relacionadas também a falhas nas tubulações, nos reguladores de pressão, conexões, etc.

A qualidade do material refratário é de suma importância, no entanto, é igualmente importante que não ocorra deformação na capa metálica dos plugues, a qual encapsula o plugue refratário. Isso pode ocorrer nas operações de pré-aquecimento e inspeção, sempre que a temperatura no plugue for demasiadamente alta.

Existem diversos tipos de plugues no mercado os quais se diferenciam principalmente quanto ao design, embora também se possa encontrar algumas variações nos materiais. Os plugues são produzidos, principalmente, de concretos aluminosos (de alta ou baixa alumina, regular ou de baixo cimento, com cromo ou de espinélios). Já o design ou tipos de plugues se diferenciam em: com canais direcionais (*slits*), porosos e mistos. Ainda, podem-se encontrar diferenças quanto à forma e áreas porosas, e número, espessura e distribuição dos canais<sup>1-3</sup>.

O tipo de projeto, tipo de material e microestrutura podem levar a uma maior eficiência de determinado plugue, quanto à resistência a infiltrações e, principalmente, ao dano por choque térmico.

No presente artigo foram analisados dois tipos de plugues de diferentes fornecedores, com projetos diferenciados. Os materiais foram caracterizados e avaliados quanto ao desempenho na indústria.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

No presente estudo, dois plugues de fornecedores distintos (Figura1), foram caracterizados através de diferentes técnicas de análises. Embora projetados para

desempenhar a mesma função, os dois materiais apresentam estruturas distintas. O material “A” apresenta canais (slits) que facilitam a injeção e permeabilidade do gás enquanto que o material “B” é formado por uma região central (região estudada) de alta porosidade e permeabilidade que está envolvida por um concreto refratário.

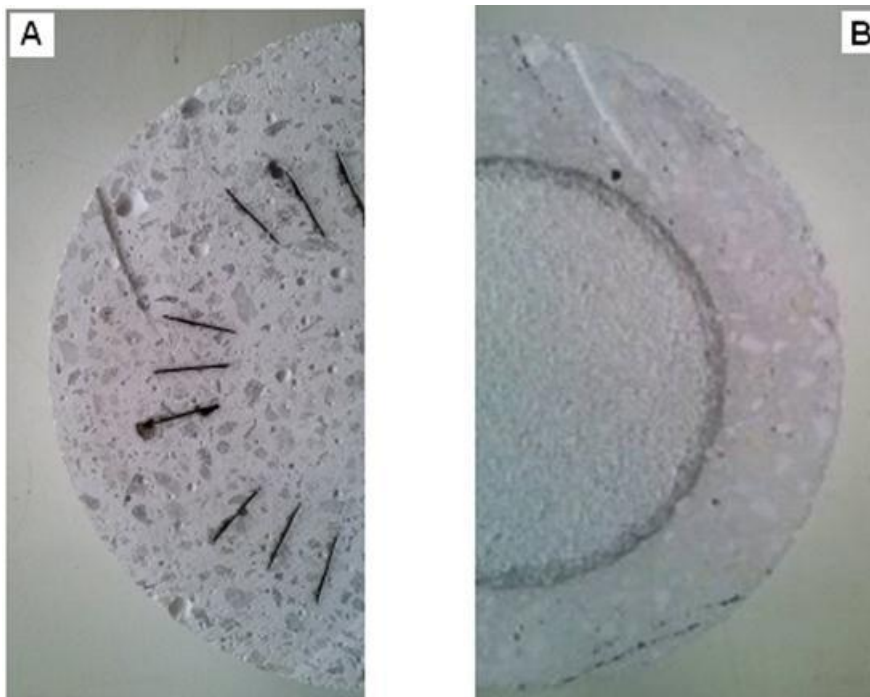


Figura 1: Imagem da seção transversal dos Plugues. (A) Plugue A e (B) Plugue B.

A avaliação da composição química foi realizada por fluorescência de raios X (Shimadzu espectrômetro, XRF - 1800), e as fases minerais no difratômetro (Phillips modelo X'Pert MPD). A microestrutura foi analisada em Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV (Hitachi, TM3000). Para esta análise, as amostras foram colocadas sobre um suporte de alumínio previamente preparado com uma fita adesiva de carbono. As amostras foram obtidas por corte a seco e o polimento foi igualmente realizado a seco, com lixas de grana crescente (de 100 a 1200).

## RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta a composição química dos materiais investigados. Os dois materiais apresentam altos teores de  $Al_2O_3$  e  $SiO_2$ , sendo que a amostra do plugue A apresenta também em sua estrutura óxido de cálcio ( $CaO$ ), que determina

a ligação do concreto refratário, e óxido de magnésio (MgO), em geral, refere-se à formação de espinélio. O material central do plugue B é altamente poroso (região central da Figura 1B) é formado principalmente por  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  e baixo teor de cálcio. Este baixo teor de cálcio normalmente é típico de concretos de baixo ou ultrabaixo teor de cimento, normalmente associados a materiais de maior refratariedade e maior resistência à abrasão.

Tabela 1. Composição química dos Plugues A e B.

<i>Compostos</i>	Plugue A	Plugue B
$\text{Al}_2\text{O}_3$	75,16	71,73
MgO	3,84	
CaO	7,98	0,98
$\text{SiO}_2$	9,39	23,08
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,34	
MnO	0,03	
$\text{K}_2\text{O}$	0,35	0,38
$\text{Na}_2\text{O}$		0,14
Outros	0,15	0,06
Perda ao Fogo	2,75	3,45

A análise de difração de raios X (DRX) da amostra do plugue A (Figura 2) mostra as fases presentes na estrutura da peça refratária. De acordo com essa, foram identificadas as fases: coríndon ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), espinélio ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), aluminato de cálcio ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) e traços de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ).

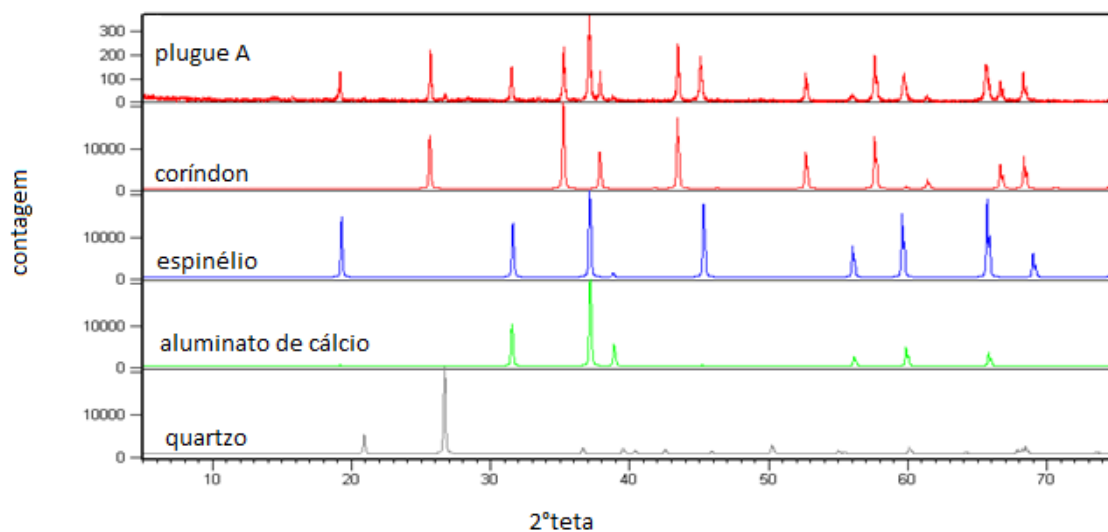


Figura 2: Difração de raios X. Plugue A.

A análise de DRX da amostra plugue B (Figura 3) mostra que a região central do plugue (área porosa) é composta pelas fases mulita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) e coríndon ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Isto ratifica o resultado da FRX, na qual principalmente os óxidos de alumínio e sílica foram identificados.

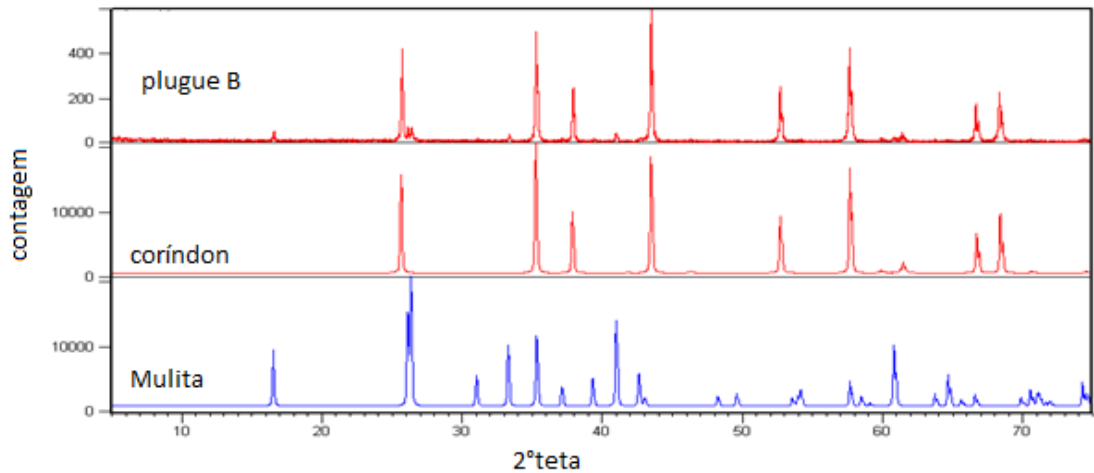


Figura 3: Difração de raios X. Plug-RHI.

As Figuras 4 e 5 apresentam respectivamente as micrografias do plugue A e do plugue B em diferentes magnitudes.

O plugue A (Figura 4) é composto por uma matriz que envolve as partículas maiores (agregados). A matriz é relativamente densa e a porosidade desta estrutura é fechada e isolada, com tamanho de poro muito menor, quando comparado ao plugue B. A permeabilidade do material depende dos *slits*, os quais atravessam o material no sentido longitudinal.

A Figura 5 mostra uma estrutura altamente porosa e composta por poros de grande tamanho ( $\sim 250\mu\text{m}$ ), os quais são responsáveis pela passagem do gás inerte (geralmente argônio) com alta taxa de permeabilidade durante o processo de rinsagem. Nota-se que as partículas apresentam alguns pontos de ligação entre elas. Esta microestrutura sugere uma fragilidade muito menor que a anterior (plugue A), com forte diminuição do módulo de elasticidade, devido à estrutura porosa.

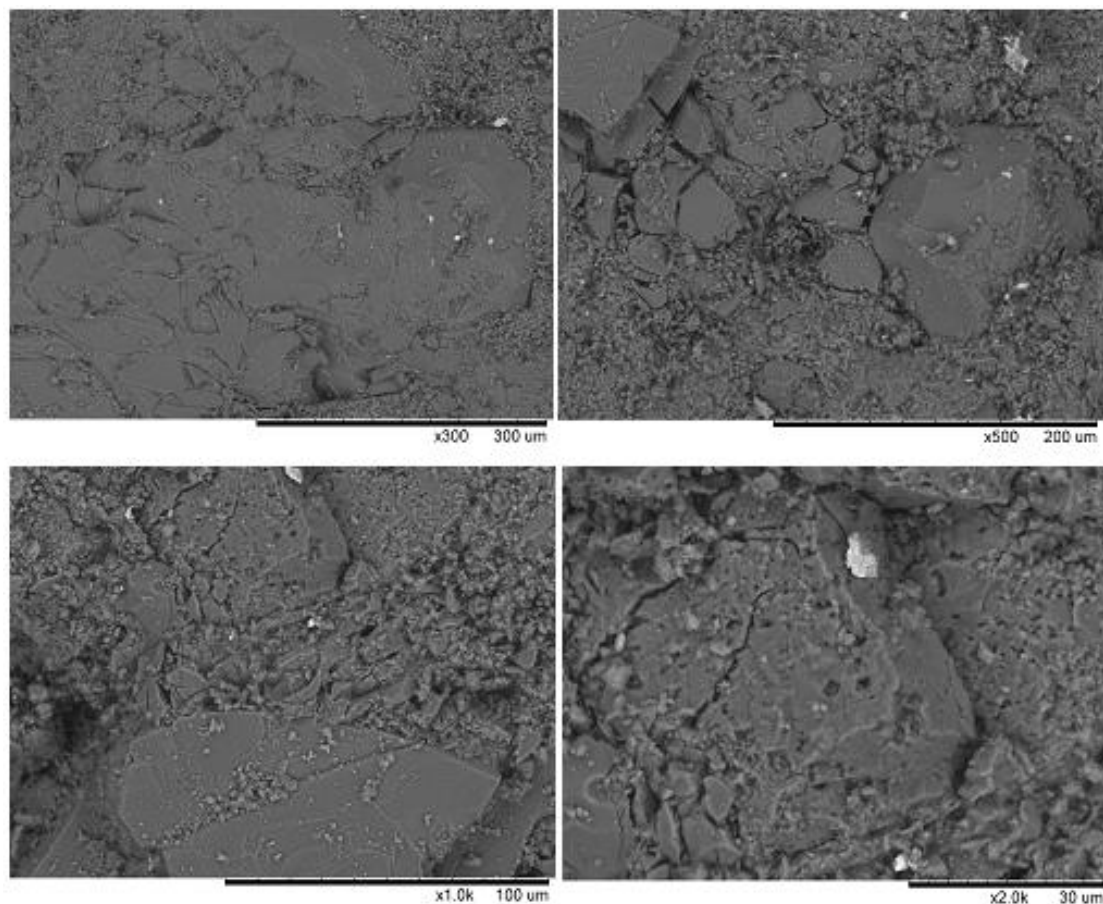


Figura 4: Microestrutura do plugue da plugue A.

Através da técnica de análise por microsonda (EDS), realizou-se a análise química de algumas regiões das duas amostras (Figuras 6 e 7). Além dos elementos esperados (oxigênio, alumínio, magnésio e cálcio) a análise geral da microestrutura do plugue A (Figura 6) revelou a presença de impurezas de ferro distribuídas na microestrutura (áreas 2 e 3) da Figura 6.

Como esperado a análise da microestrutura da região porosa do plugue B (Figura 7) apresentou somente os elementos oxigênio, alumínio e silício e baixo teor de cálcio. Sendo, portanto, um material mais puro que o do plugue A.

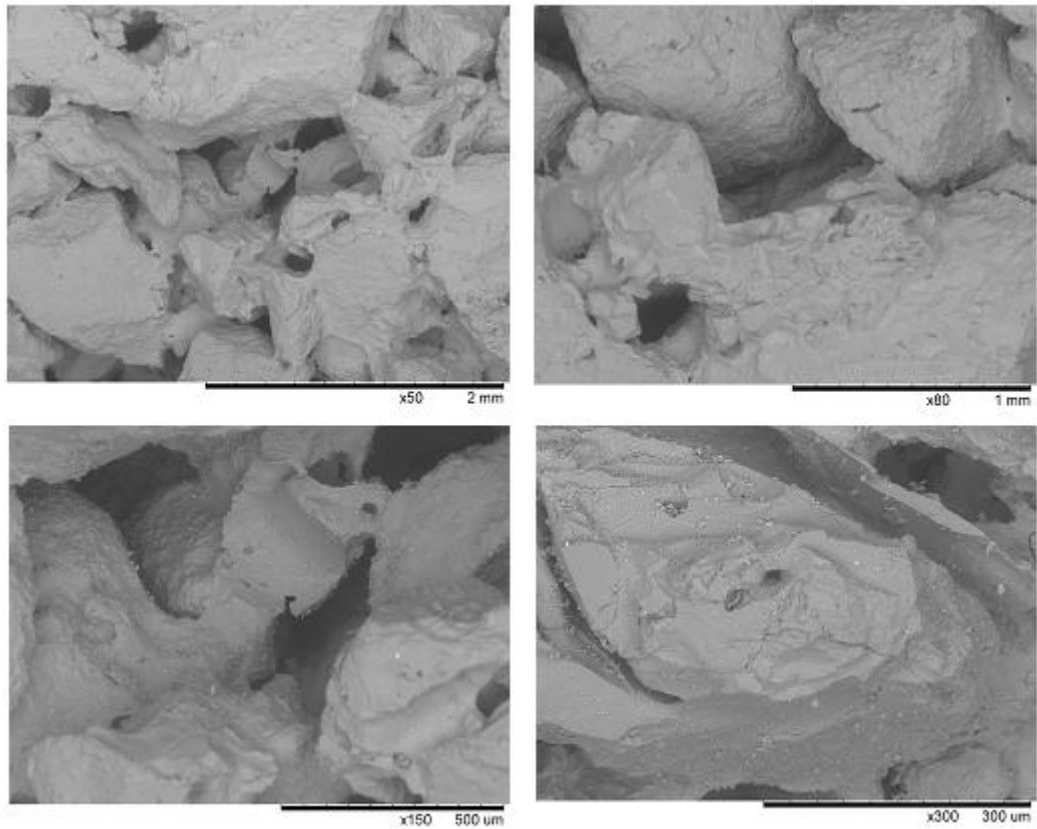


Figura 5: Microestrutura do plugue B.

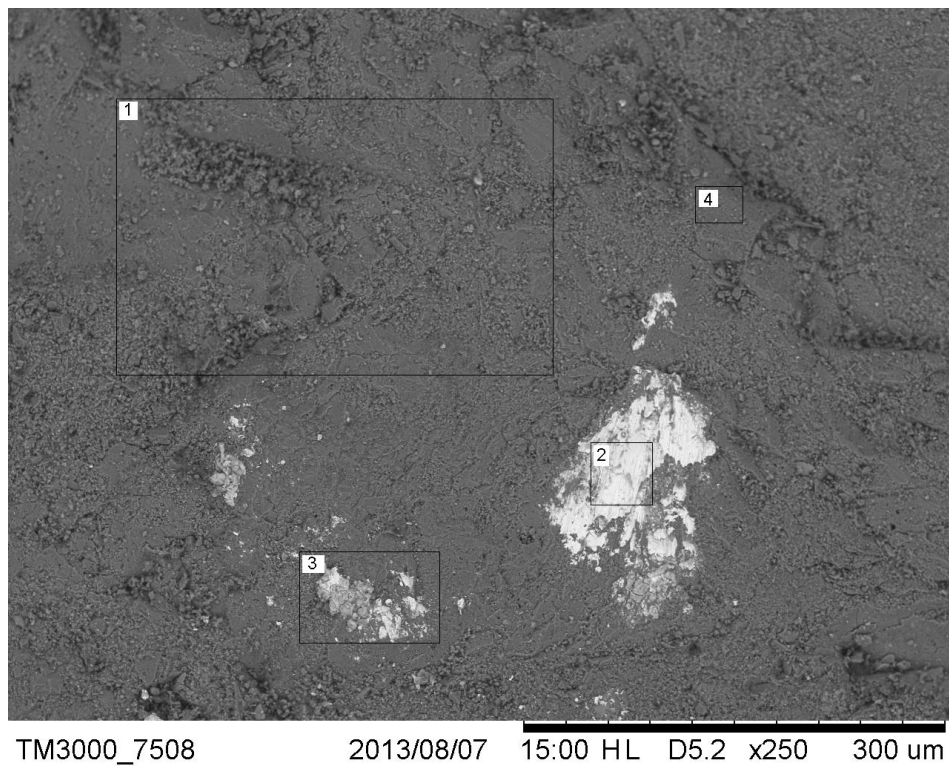


Figura 6: Análise química por microsonda do plugue A. Pontos e áreas relacionados à Tabela 2.

Tabela 2. Composição química via EDS das áreas analisadas na Figura 6. Plugue A.

Elementos	Área 1 (%)	Área 2 (%)	Área 3 (%)	Área 4 (%)
C	10,32	-	-	11,242
O	49,63	8,72	40,91	45,73
Mg	8,61	1,08	9,41	9,15
Al	28,61	5,88	30,48	30,46
Si	0,67	0,44	0,75	0,75
Ca	2,14	0,53	1,73	1,82
Fe	-	83,35	16,18	0,84

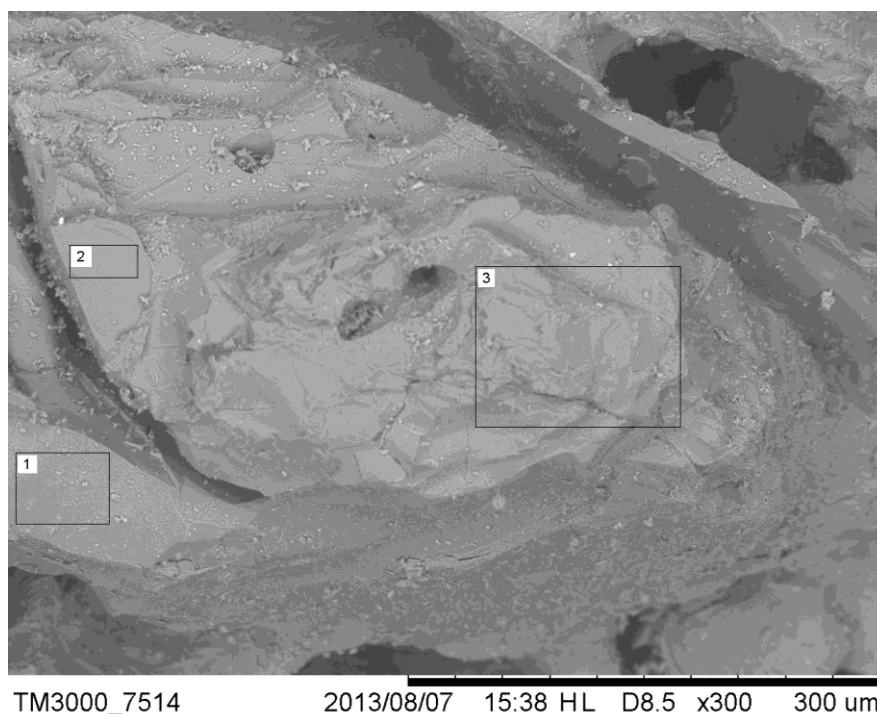


Figura 7: Análise química por microsonda do plugue B. Pontos e áreas relacionados à Tabela 3.

Tabela 3. Composição química via EDS das áreas analisadas na Figura 7. Plugue B.

Elementos	Área 1 (%)	Área 2 (%)	Área 3 (%)
C	3,61	4,20	
O	48,65	45,75	52,47
Al	45,92	49,15	43,86
Si	1,47	0,90	2,48
Ca	0,18		
Na	0,16		



### Análise post mortem

A Figura 8 apresenta imagem da análise post mortem do plugue A em uma situação em que ocorreu a obstrução do slit.



Figura 8: Plugue A *post mortem* apresentando as situações em que ocorreu a obstrução do *slit*.

No plugue A, foi possível identificar a penetração de aço no interior dos *slits*, após ser realizado um corte transversal no mesmo (Figura 8). A obstrução dos *slits* pela presença de aço pode ser considerada como consequência direta de falha operacional, principalmente no início de operação, pela falta de pressão ou ausência de rinsagem. No entanto, em outro caso, os *slits* não estavam obstruídos com aço, mas ocorreu o aparecimento de uma longa trinca, provavelmente por choque térmico ou choque mecânico.

A incidência por perda de plugue por entupimento mostrou ser menor no plugue B. Assim, o projeto deste plugue se mostrou mais adequado a eventuais variações operacionais.

## **CONCLUSÕES**

Os plugues analisados apresentam composição, estrutura e tecnologia de fabricação muito diferente. No entanto, é possível se salientar em comparação que o refratário do plugue B apresenta maior pureza entre os dois tipos de materiais. Baseando-se na caracterização dos materiais novos, nota-se que o material do plugue B apresenta agregados aluminosos/mulíticos e matriz mulítica, apresentando

ligação por concreto de baixo ou ultrabaixo teor de cimento (baixo teor de cálcio), os quais são tipicamente de elevada refratariedade e maior resistência à abrasão que os concretos regulares.

O plugue A é do tipo alumina-espínélio com ligação por concreto convencional. No entanto, ele apresenta concentração de óxido de ferro na microestrutura o que pode prejudicar seu desempenho, embora o teor do referido óxido na composição geral possa ser considerada bastante baixa ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,5\%$ ).

Em princípio, a utilização do tipo de plugue poroso seria mais adequada e explicaria o melhor desempenho do plugue B. No entanto, esta conclusão deve ser compreendida, considerando-se o tipo de indústria (processo) e tipo de aço produzido.

## REFERÊNCIAS

1. CARNIGLIA, S.C.; BARNA, G.L., Handbook of industrial refractories technology, Noyes Publications, New York, 1992.
2. Página na web. [www. vesuvius.com](http://www.vesuvius.com), acesso em Jan 2014.
3. Página na web. [www. rhi-ag.com](http://www.rhi-ag.com), acesso em Jan 2014.

## *CHARACTERIZATION OF REFRACTORY PLUGS USED FOR HOMOGENIZATION OF STEEL IN STEELMAKING*

The various types of existing refractory plugs on the market differ mainly in their design, such as porous plugs and channels (slits) plugs, but there are also significant differences in the quality of the materials that compose these refractories. In the present study, two plugs of different suppliers, were characterized for their chemical composition, microstructure and phases present. Although designed to perform the same function, the two materials showed different performance in service. Based on the characterization of new materials, it was observed that the plug produced with high refractoriness and higher purity, have its performance improved. Testing the post-mortem material showed different causes of failures in industrial practice.

Keywords: refractory, plugs, steelmaking