

DETERMINAÇÃO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DAS CAUSAS DE COLAGEM EM REATORES DE REDUÇÃO DIRETA¹

Ana Maria Guilherme Bailon²
Heidy de Oliveira Simões²
Plínio Gomes Bueno³
José Geraldo Pereira³
Thiago Marchezi Doellinger³
Maciel Rodrigues Rocha Bianchi³

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo determinar uma metodologia para avaliação de estruturas envolvidas na formação de cachos provenientes de reator de redução direta. Para atingir este objetivo foram avaliados cachos de ferro esponja onde foram identificados diferentes tipos de degradação do material como principal fator para ocorrência de colagem. Avaliou-se ainda a atuação do agente anti-colagem adicionado sobre as pelotas e a intensidade da união entre as estruturas envolvidas na colagem. As técnicas utilizadas para caracterização das amostras foram análise macroscópica, microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. Os tipos de degradação, o tipo de morfologia e a análise qualitativa dos elementos característicos do agente anti colagem forneceram um mapeamento das causas do problema, certificando a eficiência da metodologia utilizada.

Palavras-chave: Metodologia; Colagem; Minério de ferro; Pelotas; Redução direta.

DETERMINATION OF A METHODOLOGY TO EVALUATE THE CAUSES OF CLUSTERING FORMATION IN DIRECT REDUCTION REACTORS

Abstract

This study is aimed to determine a methodology for assessing causes of cluster formations from the direct reduction reactor. To achieve this goal, sponge iron samples were evaluated, which it was identified different types of material degradation as the main factor for the occurrence of clustering. It was also evaluated the anti clustering agent performance and the intensity of union between the interface structures. The techniques used to characterize the samples were macroscopic and microscopic analysis, as well as scanning electron microscopy. The types of degradation and morphology, as well as the qualitative analysis of the elements, provided a good understanding of the root causes of the problem, ensuring the efficiency of the methodology used.

Key words: Methodology; Cluster; Iron ore; Pellets; Direct reduction.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de Setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Técnico em Metalurgia – Samarco Mineração S.A - Unidade de Ponta Ubu, ES.

³ Engenheiro Metalurgista – Samarco Mineração S.A - Unidade de Ponta Ubu, ES.

1 INTRODUÇÃO

A colagem de pelotas durante o processo de redução direta é indesejável, pois afeta a produtividade dos reatores. Este efeito é observado quando partículas de minério de ferro tendem a colar durante a redução, formando aglomerados que desfavorecem o fluxo de carga e a permeabilidade do leito. Esse fenômeno prejudica a continuidade do processo de redução e a metalização.

Vários fatores contribuem para formação de cachos nos reatores de redução direta. Entre estes, destacam-se as altas temperaturas e pressões durante o processo de redução, a composição química inadequada da carga, a baixa resistência física do material, assim como a adição insuficiente de agentes anti-colagem sobre o material a reduzir. Além disso, o aumento da cinética de redução do minério e a conseqüente elevação da produtividade resultam na maior tendência à formação do clustering. Cabe ressaltar também que a heterogeneidade de temperatura no reator favorece a formação cachos, podendo levar a obstruções nos bicos injetores de gases redutores acarretando no menor grau de metalização.

Eisen et al.⁽¹⁾ estudaram a composição química da carga dos fornos de redução e constataram sua influência na colagem. Eles concluíram que, se existir elevada quantidade de ganga no minério, serão estabelecidas condições para formação de uma mistura eutética de baixa temperatura de fusão, favorecendo o amolecimento e colagem de grãos de minério de ferro. Pouca ganga, aliada a condições especiais de redução, favorece o crescimento de precipitados fibrosos de ferro. Algumas empresas têm alterado a formulação química das pelotas, variando a basicidade e os teores de elementos como magnésio, a fim de minimizar a ocorrência de colagem.

Segundo Wright e Morrison⁽²⁾ a resistência ao esmagamento das pelotas sob redução diminui nos estágios iniciais do processo, quando ocorrem alterações microestruturais e cinéticas na redução de óxidos de ferro. Estas alterações são responsáveis por fenômenos relacionados com o inchamento, a degradação e a sinterização do ferro metálico. As propriedades das estruturas envolvidas nestas transformações determinarão o comportamento do material quanto a suportar ou não as pressões e esforços de abrasão durante a redução, o que influencia na formação de cachos.

Khodak, Borisov e Mashkov⁽³⁾ mostraram que a formação de cachos de pelotas de minério de ferro, numa faixa de 700°C a 900°C no curso de redução, ocorre com o aparecimento de ferro metálico na superfície das pelotas, estando estas em contato umas com as outras. A resistência da zona de contato aumenta com o aumento da temperatura, do grau de redução das pelotas e da carga externa aplicada. Este fenômeno de metalização e colagem é acompanhado por outro fenômeno, a coalescência das pelotas.

O recobrimento da pelota com coating diminui a ocorrência de colagem, pois atua no sentido inibir a formação de pontes de ferro entre as pelotas. Entretanto, sua permanência sobre as pelotas é afetada por severas condições de manuseio e transporte, além de condições climáticas (em alguns casos, as pelotas são armazenadas em pátios de estocagem a céu aberto).

O presente trabalho investiga os mecanismos de formação de cachos, através da avaliação macro e microscópica das estruturas envolvidas na colagem de ferro esponja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisadas amostras de cachos de pelotas reduzidas coletados na saída de reatores industriais de redução direta. Esforços mecânicos aplicados aos cachos os subdividiram em pequenas amostras, conforme Figura 1B, que foram avaliadas macro e microscopicamente.

As análises microscópicas foram realizadas em microscópio óptico Zeiss, modelo Imager M2m, com auxílio do *software* de análise de imagens AxioVision 4.8. Também foi utilizado microscópio eletrônico de varredura Jeol modelo JSM-6360, com espectrômetro por dispersão de raio-X (EDS) acoplado.

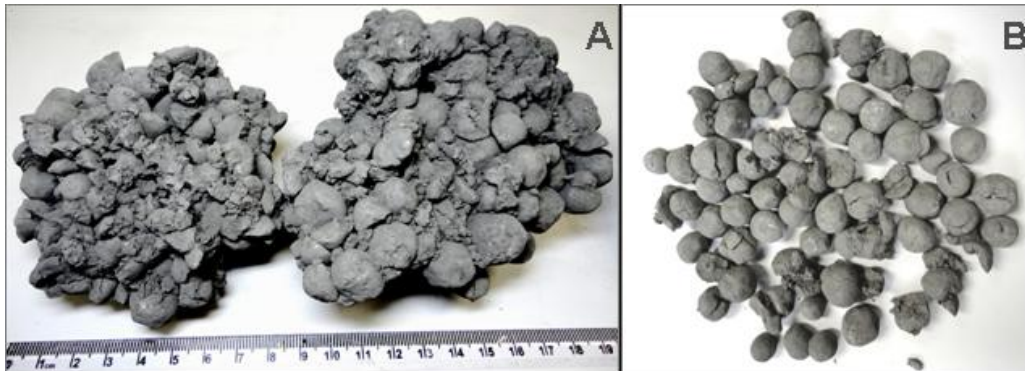


Figura 1. Amostras de cachos; A) cachos inteiros; B) cachos desfeito gerando amostras menores.

As principais estruturas envolvidas na colagem foram as seguintes: união pelota-pelota, união caco-pelota e união caco-caco. Análises em MEV com EDS foram realizadas para identificar a presença de elementos característicos do coating.

Na Figura 2 é possível observar algumas amostras, geradas a partir dos cachos. Destacam-se ainda regiões das amostras embutidas, onde serão feitas análises em MEV.

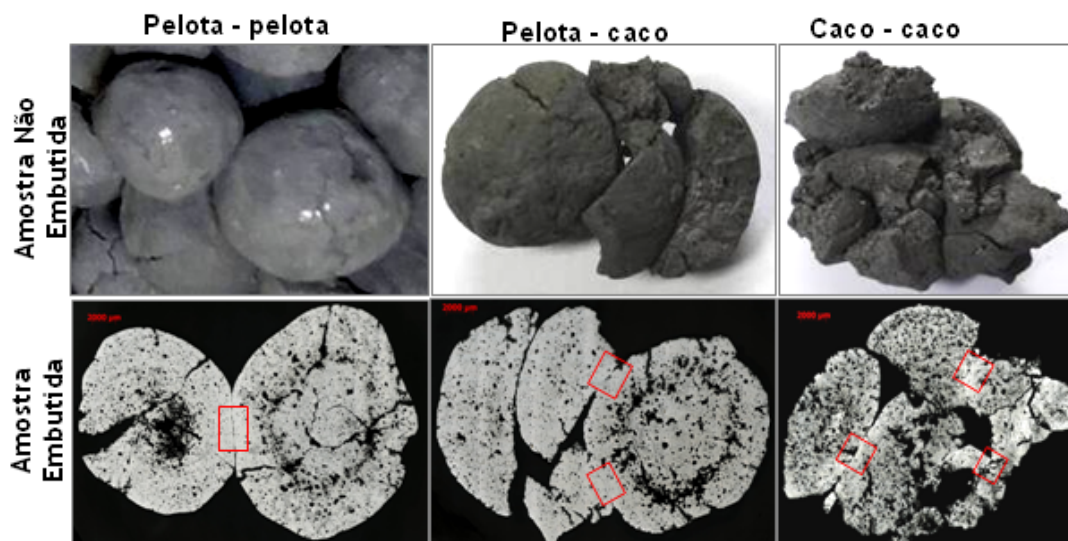


Figura 2. Partes de um cacho selecionadas para avaliação macro e microestrutural.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Identificação de *Coating*

A fim de se investigar a presença do coating nas superfícies das amostras foram realizadas análise em MEV com EDS. As regiões seccionadas para essa análise são mostradas na Figura 3.

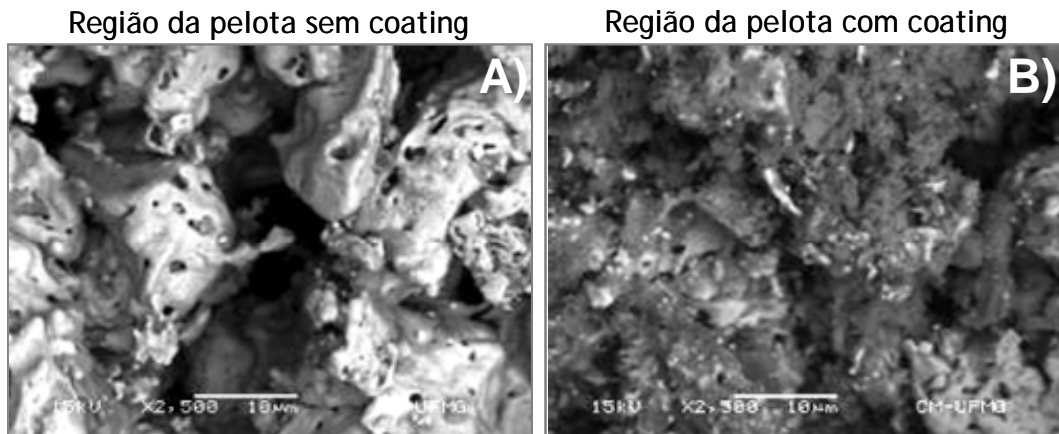


Figura 3. A) ferro metálico sem cobertura de coating; B) ferro metálico com cobertura de *coating*.

Na Figura 3A observa-se uma região sem coating com estrutura típica de ferro fibroso sinterizado.

Observa-se na Figura 3B uma região onde o *coating* foi encontrado mostrando pouca exposição do ferro e evidenciando menor probabilidade de ocorrência de colagem, uma vez que o contato entre o ferro metálico das superfícies das duas pelotas fica impossibilitado. Segundo Griscom⁽⁴⁾ a existência de *coating* inibe a formação de regiões de colagem.

Os percentuais de elementos Ca, Mg, e Si confirmaram a presença de coating nas amostras. Os resultados da análise química (Figura 4) mostraram que os valores desses elementos foram muito superiores na amostra com *coating*, enquanto na amostra sem *coating* houve predominância do ferro.

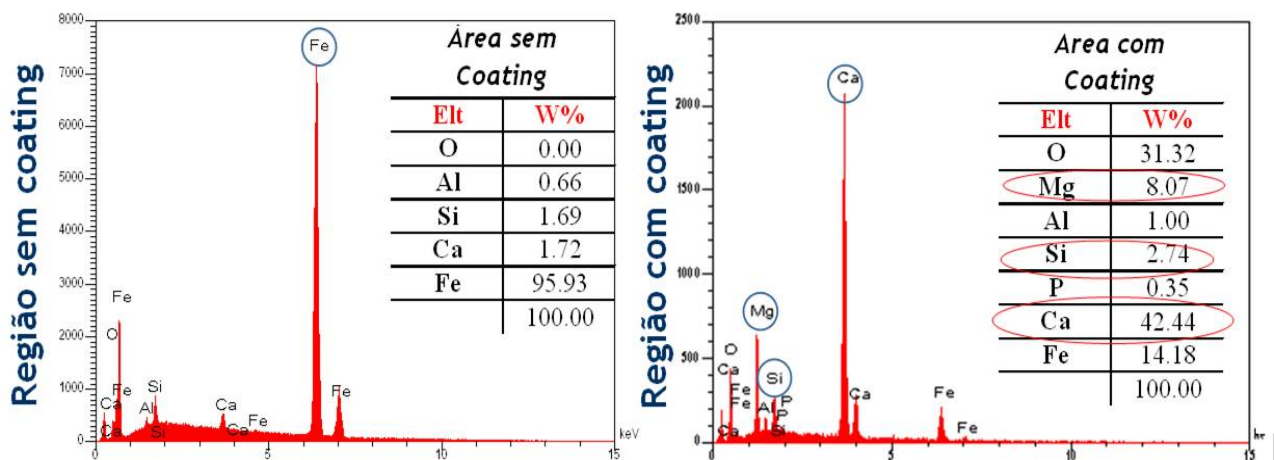


Figura 4. Análise química qualitativa por EDS de regiões sem coating e regiões com *coating*.

3.2 Identificação dos Tipos de Degradação

A análise macroscópica das pelotas reduzidas obtidas à partir de cachos detectou diferentes tipos de degradação. O primeiro tipo pode ter sido causado dentro do reator de redução direta e as pelotas denotaram ter sido rompidas por pressão da carga. Isto é evidenciado pelo aparente esmagamento e deformação das pelotas (Figura 5).



Figura 5. Pelotas degradadas durante o processo de redução direta.

Uma evidência de que este tipo de degradação ocorreu dentro do reator é que a parte fraturada destas pelotas não apresentou coating.

A ausência do *coating* nas partes degradadas e expostas da pelota pode ter auxiliado formação de cachos. Fatores como altas temperaturas e pressão praticadas nas operações do reator e variações nos índices de resistência física da carga de pelotas podem afetar neste tipo de degradação. A combinação destes fatores também pode ter ocorrido. Outro tipo de degradação detectado (Figura 6) foi caracterizado por cacos de pelotas.



Figura 6. Colagem entre pelotas e cacos representando degradação por manuseio/transporte.

A fratura encontrada neste material é diferente da encontrada nas pelotas que degradaram dentro do reator de redução direta. Foi encontrado coating na parte fraturada, indicando que as amostras já entraram no reator sob a forma de caco, ou seja, sofreram degradação no manuseio/transporte. Os pontos de coating não foram suficientes para impedir a formação de cachos.

Wright e Morrison⁽²⁾ afirmam que mudanças de estrutura cristalina ocorridas durante a redução (hematita, HC → magnetita, CFC → wustita CFC → ferro metálico, CCC) causam alterações de volume e fissuras intragranulares nos grãos. Foi observado que estas mudanças acarretam na diminuição da resistência física da carga metálica durante os estágios iniciais da redução. As alterações microestruturais, aliadas variações no índice de resistência física da carga alimentadora do reator, podem acarretar em degradação do material, com conseqüente exposição da parte interna das pelotas (favorecendo a colagem). A resistência mecânica da carga sob redução aumenta com uma combinação de fatores como o tempo de exposição à temperatura e a sinterização do ferro metálico.

3.3 Avaliação das Regiões de Colagem

Baseando-se nos tipos de estruturas envolvidas na colagem de um cacho, foi avaliada a intensidade da união entre as seguintes estruturas: pelotas-pelota, caco-pelotas e caco-caco. Quando a união ocorria entre duas pelotas (Figura 7), a colagem era desfeita com facilidade, ou seja, manualmente.

Foram detectadas algumas regiões de colagem, ponto A da Figura 7, onde análise de EDS não detectou elementos característicos do coating. Estes elementos, entretanto, foram encontrados no ponto B. Na região de união entre as pelotas existiam poucas áreas iguais ao ponto A indicando que esta união seria desfeita até mesmo na descarga do reator caso não estivesse envolvida em um cacho.

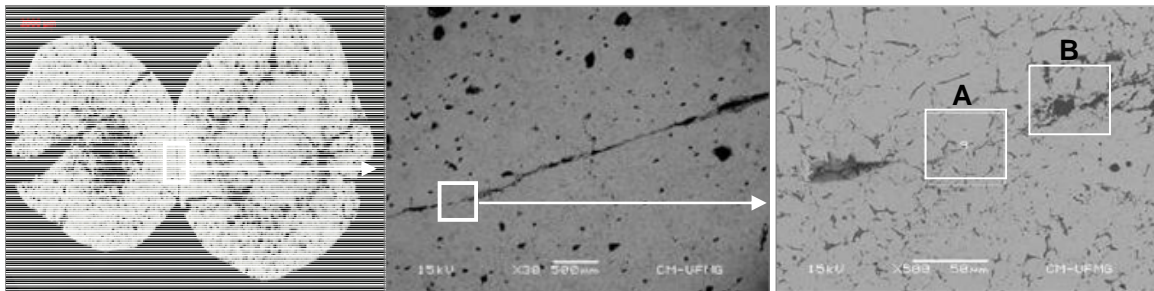


Figura 7. Macro e microestrutura de regiões de colagem entre pelotas reduzidas.

Quando se detectou a união de caco com uma pelota reduzida, a colagem exigiu mais força para ser desfeita. O ferro da parte fraturada do caco estabeleceu ligações mais resistentes com a pelota.

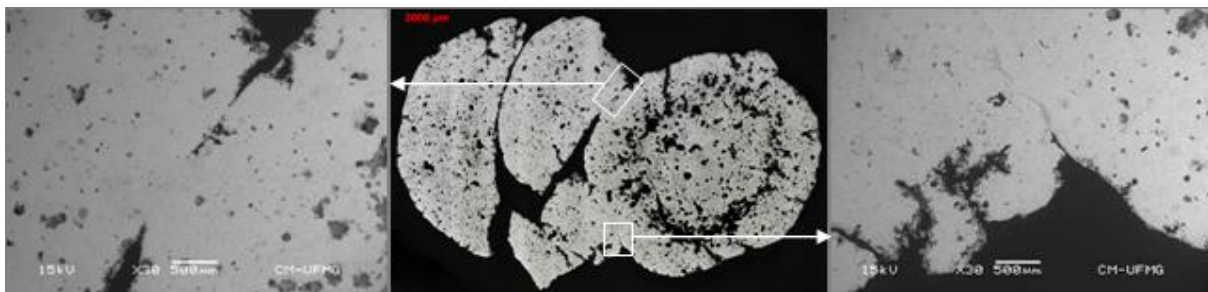


Figura 8. Macro e microestrutura de regiões de colagem entre pelota reduzida e cacos.

Quando cacos de pelotas estavam unidos uns aos outros, a união era forte e desfazê-la seria praticamente inviável. As regiões de colagem eram maiores e, em alguns cacos, não se observou distinção entre as partes envolvidas na colagem.

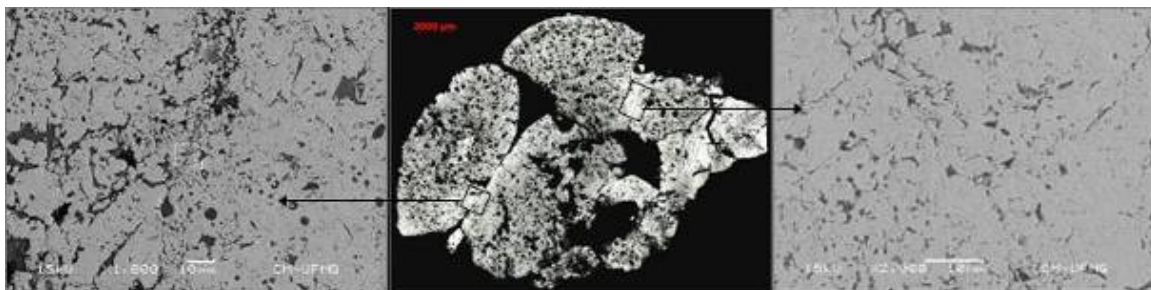


Figura 9. Macro e microestrutura de regiões de colagem entre cacos.

A intensidade de colagem está relacionada ao grau de sinterização estabelecido nas regiões onde houve a formação de pontes de ferro metálico.

Segundo Ashby⁽⁵⁾ vários fatores podem influenciar o processo de formação das pontes de ligação entre as partículas, bem como a taxa de crescimento desta ligação, que tem um impacto maior ou menor na densificação do produto gerado. Estes fatores são a temperatura em que o agregado é submetido, o tamanho da ponte, o tempo de exposição entre outros.

A Figura 10 mostra o ferro fibroso antes e depois da sinterização. Observa-se que as fibras de ferro sinterizam formando ferro metálico poroso com pontes responsáveis pela colagem das estruturas.

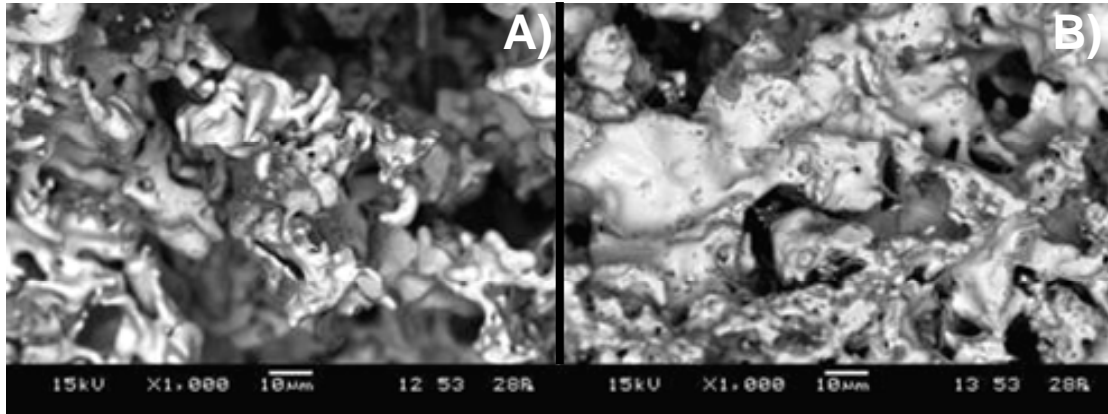


Figura 10. Morfologia do ferro metálico. A) fibras de ferro não sinterizadas; B) pontes de ferro metálico sinterizado.

É comprovado industrialmente e em estudos conduzidos por Lopes⁽⁶⁾ que a elevação da temperatura a patamares muito altos catalisa a formação de colagem devido à sinterização em regiões onde houve coalescimento de partículas de ferro metálico.

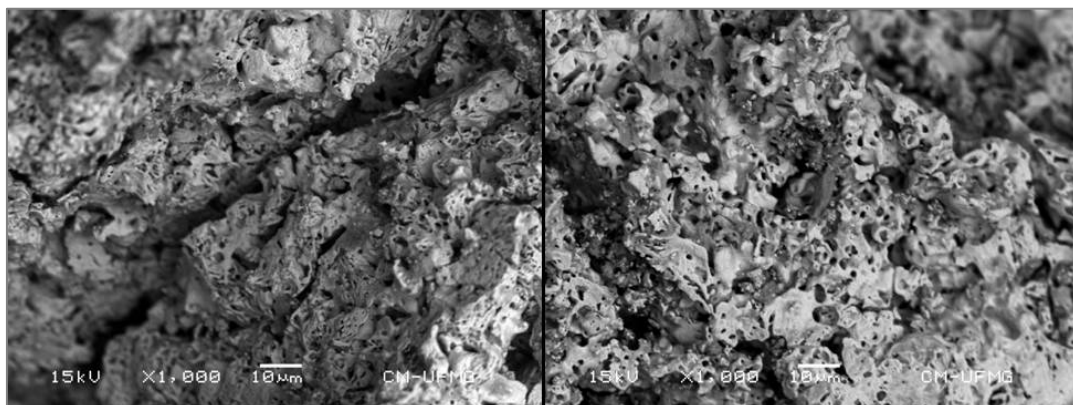


Figura 11. Estruturas de ferro metálico poroso com morfologia típica de sinterização de fibras.

A Figura 11 mostra estruturas de ferro esponja sinterizado. O entrelaçamento de fibras posteriormente sinterizadas pode ter resultado na colagem entre pelotas e cacos formando cachos.

4 CONCLUSÃO

A análise das estruturas envolvidas na formação de cachos permitiu a avaliação de causas atuantes no processo de colagem em um reator de redução direta. A

metodologia utilizada para avaliação de colagem abordou a intensidade da união entre as estruturas pelota-pelota, pelota-caco, caco-caco e verificou que esta união esteve diretamente ligada à morfologia do ferro metálico sinterizado formador de pontes que proporcionaram a colagem dentro do reator. A falta de uniformidade de distribuição do agente anti colagem sobre a carga também foi avaliada, permitindo verificar sua influencia na formação de cachos. A metodologia avaliou ainda, em análise macroestrutural e microestrutural, diferentes tipos de degradação ocorridas dentro e fora do reator, que contribuiriam para formação de cachos.

Agradecimentos

Registra-se aqui o agradecimento à Samarco Mineração e às Gerencias de Assistência Técnica e Engenharia de Processos e Automação. Os agradecimentos estendem-se ao Doutor Henrique Turrer e aos profissionais do Laboratório.

REFERÊNCIAS

- 1 EISEN, H. P., et all. Investigations in a reduction scanning electron microscope about the reduction behavior of modern iron ore pellets and sinters with low SiO₂ and CaO contents.
- 2 WRIGHT, J. K., MORRISON, A. L. Test methods for the laboratory evaluation of iron burdens for grow direct reduction process: Current practice and recommendations for future standards. FAISI, 1984, p. 51-67.
- 3 KHODAK, L. Z., BORISOV, Yu. I. and MASHKOV, V. M. Conglomeration of Iron-Ore Pellets Under a Load in the Course of Reduction by Hydrogen. Russian Metallurgy, 3, 1990, p. 9-12.
- 4 GRISCOM, F. Coated Oxide Pellets – Rediscovered Route to DR Productivity Gains. Direct from Midrex, 1st Quarter, 1995.
- 5 ASHBY, M. F. A first report on sintering diagrams. Acta Metallurgica, vol.22, 1974, p. 275 - 289.
- 6 LOPES, F. Estudo do Fenômeno de colagem das pelotas Samarco durante o Processo de Redução Direta.