

SOLUÇÕES EM TECNOLOGIA DE FERROSOS NA CVRD

Rogério Tales Silva Carneiro ⁽¹⁾

José Murilo Mourão ⁽²⁾

Evânio Gariglio ⁽³⁾

Resumo

O fornecimento de minério de ferro exerce um importante papel em prover competitividade às empresas, particularmente no caso da siderurgia brasileira, onde a existência desses recursos minerais, em quantidade e qualidade, representa diferencial competitivo no mercado de aço. Para atuar efetivamente nesse mercado, a CVRD tem desenvolvido diversas ações no sentido de consolidação de sua posição de fornecedor estratégico para os clientes. Ações de consolidação das reservas minerais, tanto em termos de quantidade como qualidade, permitem à empresa explorar praticamente todas as possibilidades de fornecimento, considerando características físicas, químicas, metalúrgicas e mineralógicas de minério de ferro. Junta-se a isso um dos principais ativos da empresa, a sua grande flexibilidade em termos de logística de distribuição ao operar sistemas integrados de ferrovia e portos. Contudo, para melhor atender ao mercado torna-se importante conjugar toda essa flexibilidade operacional com o desenvolvimento de ações tecnológicas que gerem valor para os problemas rotineiros dos clientes ao utilizar minério de ferro. Esse trabalho apresenta a estruturação atual da CVRD para atender a essa demanda de seus clientes, bem como alguns casos práticos em andamento de parceria tecnológica com o mercado.

Palavras-chave: Tecnologia, redução, sinterização, pelotização, carga metálica

CVRD's Approach to Provide Ferrous Burden Solutions

Abstract

CVRD will focus on cost effective application of iron ore in blast furnaces and in sinter plants. This presentation will address the work that we do on behalf of the iron ore consumer, in composing or in complementing the ferrous burden (pellets, lump and fines). The paper will go into the preparatory application research that we carry out, with the purpose to provide solutions that will help the iron ore consumer to improve operations and thereby saving costs.

Key-words: Technology, ironmaking, sintering, pelletizing, metallic burden

1. INTRODUÇÃO

A Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) tem realizado nos últimos anos diversas iniciativas para reforçar sua posição como fornecedor estratégico de minério de ferro. Nesse contexto é importante combinar a flexibilidade do sistema com a proposição de soluções tecnológicas que tragam valor para os clientes nos seus problemas rotineiros no uso do minério de ferro. Muitos esforços foram realizados nas últimas duas décadas a fim de criar alternativas

para cada cliente. Trabalhando conjuntamente com o mercado, a CVRD pode disponibilizar sua extensa capacidade tecnológica, tais como laboratórios de caracterização, plantas piloto e modelamento.

Estratégias de solução de carga que otimizem o custo final do aço têm sido oferecidas pela CVRD e aplicadas pelos clientes, com ganhos mútuos pelo compartilhamento de resultados. Um dos pontos básicos é aprender a filosofia

⁽¹⁾ Engenheiro Metalurgista, M.Sc., MBA, Gerente de Tecnologia e Desenvolvimento de Produtos da Companhia Vale do Rio Doce.

⁽²⁾ Engenheiro Metalurgista, Gerente Geral de Tecnologia e Qualidade da Companhia Vale do Rio Doce.

⁽³⁾ Engenheiro Metalurgista, MBA, Gerente Marketing Técnico da Companhia Vale do Rio Doce.

operacional do cliente e suas metas de desempenho, o que é realizado por diversas missões técnicas e reuniões que ocorrem tanto nas usinas como nas instalações da CVRD. O trabalho apresenta os princípios que norteiam a ação da CVRD em termos de fornecimento de soluções tecnológicas para o uso de minério de ferro, visando construir parceria e compartilhamento de benefícios com a indústria siderúrgica.

1.1 Enfoque do Desenvolvimento Tecnológico de Ferrosos

Para ganhar competitividade, o produtor de aço tende a focar em seu negócio central (*core business*), que é relacionado geralmente com o desenvolvimento de produtos e engenharia de aplicação do aço. Neste contexto, o fornecedor do minério de ferro deve estar preparado para fazer o mesmo papel, oferecendo soluções em termos de carga em estreita parceria tecnológica com os produtores de aço, baseados no conhecimento completo das características de seus minérios. A Figura 1 mostra esquematicamente o enfoque de atuação resultante para o fornecedor de minério de ferro nesse cenário, baseado em soluções que utilizam o conceito geosiderúrgico. Nesse cenário, o fornecedor deve compreender completamente os fenômenos que correlacionam a estrutura do minério de ferro (relacionado aos processos da formação e do enriquecimento de depósito do minério de ferro) com sua microestrutura e finalmente seu desempenho técnico e econômico em processos industriais de mineração, beneficiamento e na área de redução.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para dar suporte ao desenvolvimento tecnológico, a CVRD conta com completa estrutura laboratorial convencional que permite a avaliação das características físicas, químicas, metalúrgicas e mineralógicas do minério de ferro e carga metálica, incluindo plantas-piloto de pelotização e sinterização para fornecer maior previsibilidade aos processos de aglomeração. O laboratório está equipado para realizar praticamente todos os ensaios requeridos pelos clientes de alto-forno e redução direta, segundo as diversas normas internacionais existentes e com certificação ISO 9001-2000.

A CVRD também está trabalhando no sentido de se equipar com técnicas estado-da-arte para suportar suas necessidades de análise, métodos experimentais e simulações de processo. Ação recente nesse sentido é a implantação de laboratório de propriedades a altas temperaturas da carga metálica, que inclui forno de amolecimento e fusão de última geração (fornecimento NSC).

De modo a considerar consistentemente as informações obtidas nos ensaios das plantas-piloto e estimar o valor de uso de seus minérios na operação do cliente, desenvolveu-se um modelo matemático baseado em balanço de massa das operações de redução e refino. Este modelo permite estimar as consequências técnicas e econômicas de se utilizar uma dada mistura de minério de ferro na sinterização, alto-forno e aciaria. Este modelo, denominado SACMIF, foi projetado para (i) definir a melhor mistura de minério para sinterização de modo a minimizar o custo do gusa, baseado em programação linear, (ii) estabelecer os principais parâmetros de desempenho do processo e qualidade da sinterização baseado em redes neurais artificiais com programação não linear incluindo características mineralógicas dos minérios, (iii) determinar os custos de produção de gusa e aço considerando operações de DeS e DeP, e (iv) opções para minimizar o volume de escória do alto-forno. Este modelo, apresentado esquematicamente na Figura 2, considera a composição da carga metálica usada ou desejada pelo cliente e está sendo empregado para suportar decisões estratégicas visando encontrar a melhor solução para minimizar custos de produção do cliente.

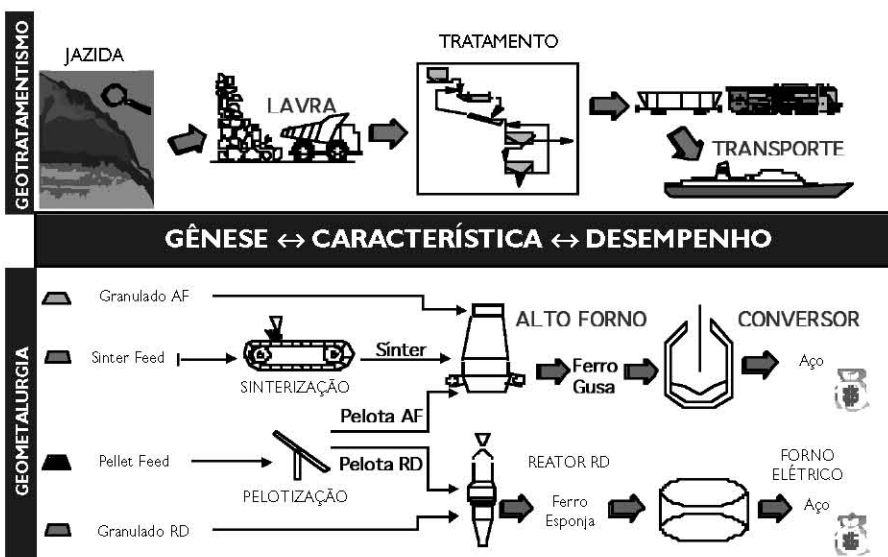


Figura 1. Enfoque da pesquisa em minério de ferro da CVRD – da mina até a aciaria

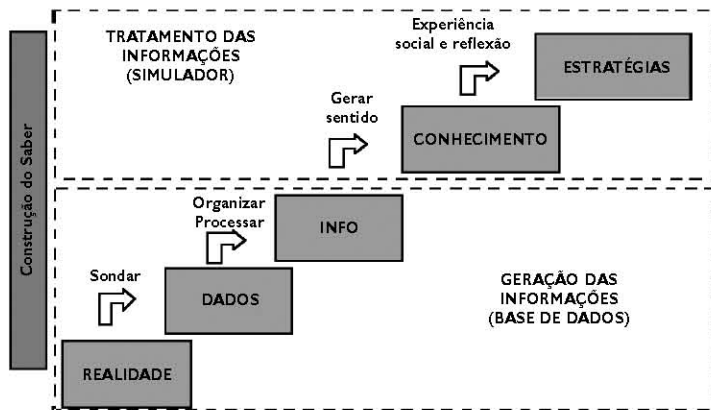


Figura 2. O conceito do modelo SACMIF

3. RESULTADOS

Em consonância com formas atualizadas de abordagem das atividades de pesquisa no setor siderúrgico, a CVRD vem atuando com base em ciência dos materiais visando a correlação entre a estrutura do minério e o desempenho de processo e dos produtos obtidos, de acordo com abordagem geosiderúrgica esquematizada a seguir.

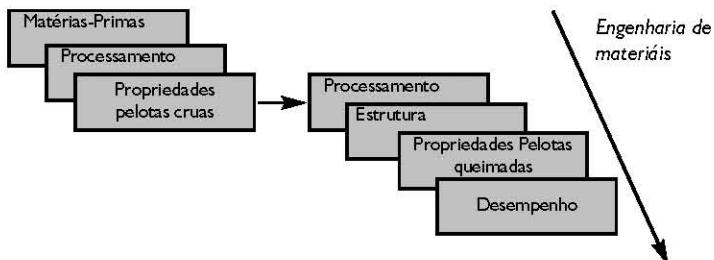


Figura 3. Geosiderurgia aplicada à pelotização de minérios de ferro

A CVRD tem investido na caracterização de seus minérios visando a obtenção de parâmetros que descrevam a estrutura interna dos mesmos, para subsidiar a otimização das características das pelotas obtidas. Considerando todas as frentes de lavras em exploração, a CVRD pode otimizar a escolha dos minérios que serão utilizados no desenvolvimento de uma nova pelota, visando a maximização de determinadas características determinadas pelos clientes. Considerando esses conceitos, atua-se no planejamento da produção de pelotas, selecionando, por exemplo, minérios não hidratados quando se objetiva uma maior resistência física das pelotas queimadas (Figura 4). Por outro lado prioriza-se minérios hidratados e porosos quando necessita-se elevado grau de moabilidade e metalização (Figura 5).

A metodologia utilizada de desenvolvimento de produtos na pelotização está baseada nos requisitos da norma ISO 9001-2000. Através da manutenção e desenvolvimento de uma equipe de assistência técnica, a CVRD cumpre um programa anual de visitas técnicas para acompanhamento da performance de seus produtos nos clientes e identificação de oportunidades de melhorias. Estas oportunidades

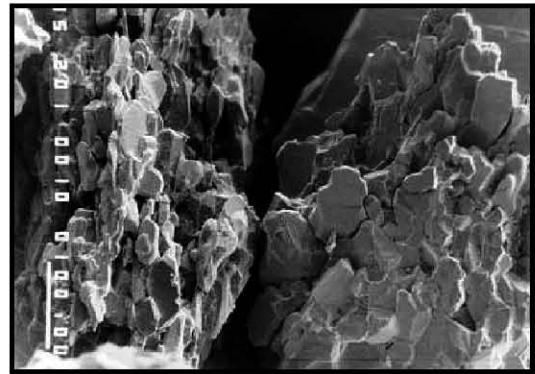


Figura 4. Minério Não Hidratado

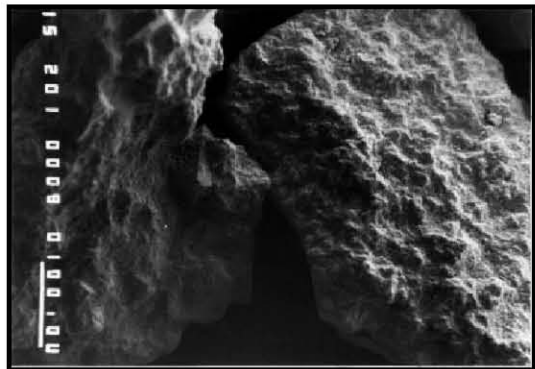


Figura 5. Minério Hidratado e com grão e com grão médio pequeno

podem ser transformadas em aprimoramentos nos produtos existentes ou no desenvolvimento de novos produtos que venham a garantir a participação da CVRD nos diversos mercados consumidores. A atuação desta equipe está em consonância com as atividades da Diretoria Comercial.

3.1 Avaliação da Sinterabilidade de Minério de Ferro

Os testes em escala piloto são muito importantes para estimar os resultados que refletem o comportamento do minério de ferro na operação de sinterização industrial. Desde que a CVRD iniciou seus estudos de sinterização, nos anos 70, cerca de 26000 queimas foram realizadas visando adquirir e melhorar o conhecimento dos fenômenos relacionados ao processo de sinterização. Estes estudos geralmente são realizados em conjunto com os clientes a fim de selecionar misturas adequadas de minério de ferro. A instalação piloto de sinterização na CVRD é automatizada e pode ser ajustada dentro de uma escala grande de configurações tais como a altura da camada (400 a 700 milímetros) e sucção (acima de 1800 mmca).

A classificação de minério de ferro da CVRD foi desenvolvida ao longo dos anos baseado em numerosos testes piloto e observações práticas. A base do modelo CVRD para selecionar minérios de ferro para sinterização é estabelecida ligando estas três características principais (tamanho de cristal, perda ao fogo e Al_2O_3) com o desempenho da sinterização. Isto é mostrado esquematicamente na Tabela 1.

Tabela 1. Características do minério que impactam cada parâmetro de sinterização.

Parâmetros de sinterização	Tamanho de cristal do minério	Perda ao fogo do minério	Al_2O_3 do minério
Bulk density do leito	↑		
Rendimento	↑	↓	
Velocidade de sinterização	↑	↓	
Produtividade	↑		
Coke rate	↓	↓	
Tumble Sinter	↑		↓
RDI sinter	↓		↓
Redutibilidade	↑	↓	

A primeira coluna mostra os parâmetros de sinterização que são mais usados para avaliar e controlar o desempenho do processo (além da composição química). Condições operacionais ótimas implicam que produtividade, resistência do sinter e redutibilidade devem ser elevadas, como indicado pelas setas, e consumo de combustível e RDI tão baixo quanto possível. Nas outras colunas as setas mostram as características que têm o maior impacto em cada parâmetro e em que sentido teria que mudar para melhorar o parâmetro.

4. DISCUSSÃO

Um número crescente de acordos técnicos da cooperação foram concluídos entre a CVRD e clientes, usando a experiência na aplicação do minério de ferro para sinterização e carga metálica para alto-fornos. Nos últimos oito anos, 25 siderúrgicas em torno do mundo participaram destes acordos, conforme mostrado na Figura 6.

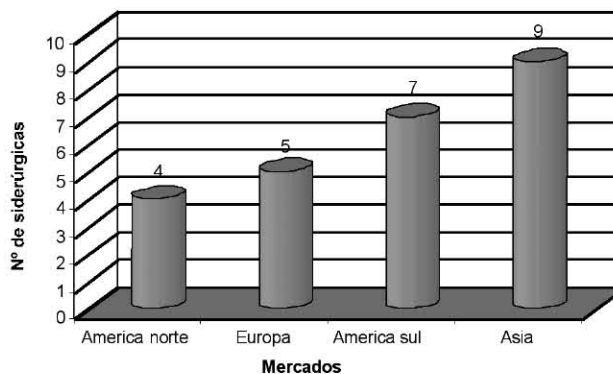


Figura 6. Número de acordos técnicos entre CVRD e clientes por região geográfica.

O estágio inicial de um acordo da cooperação envolve a definição do objetivo principal do cliente. Alguns dos objetivos mais comuns são:

- aumento de produtividade na sinterização e/ou alto-forno;
- redução do volume de escória do alto-forno;
- melhoria da qualidade do sinter e gusa;
- redução do custo do sinter e/ou gusa.

O estágio seguinte consiste em adquirir informações técnicas relevantes sobre as práticas dos clientes em sinterização, alto-forno e até mesmo aciaria. O levantamento de informações e definição de premissas são pontos críticos porque o sucesso da análise depende da qualidade da informação. Após disponibilização de todos os dados, a etapa de simulação matemática é iniciada, em que as cargas de sinterização e alto-forno são ajustadas. Os resultados da simulação definirão as condições de teste piloto de sinterização no laboratório da CVRD. O cliente fornece as matérias-primas usadas para os testes de sinterização piloto.

A primeira parte dos testes piloto consiste em avaliar a distribuição de tamanho da partícula e a composição química de todas as matérias-primas usadas no estudo. Para os minérios de ferro uma caracterização detalhada é conduzida primeiramente. A caracterização é importante porque esta informação será usada para correlacionar as características do minério de ferro com o desempenho na sinterização. Os dados são usados também como a entrada para a programação não-linear. Estes modelos irão prever os resultados de sinterização antes mesmo dos testes piloto. Como etapa final, o plano de testes é realizado. Um exemplo resumido de um plano de teste é apresentado na Figura 7. Os gráficos mostram que quatro misturas de sinterização foram propostas em adição à mistura de referência. Em todas as quatro misturas a proporção de sinter feed mais rico era mais elevada do que a referência. Usando estas misturas a qualidade química do sinter melhorou. A carga do alto-forno foi também ajustada devido ao aumento previsto de produtividade na sinterização. Na mistura 4 as pelotas foram introduzidas na carga do forno. Para todas as misturas propostas o volume de escória e consumo de combustível diminuiu.

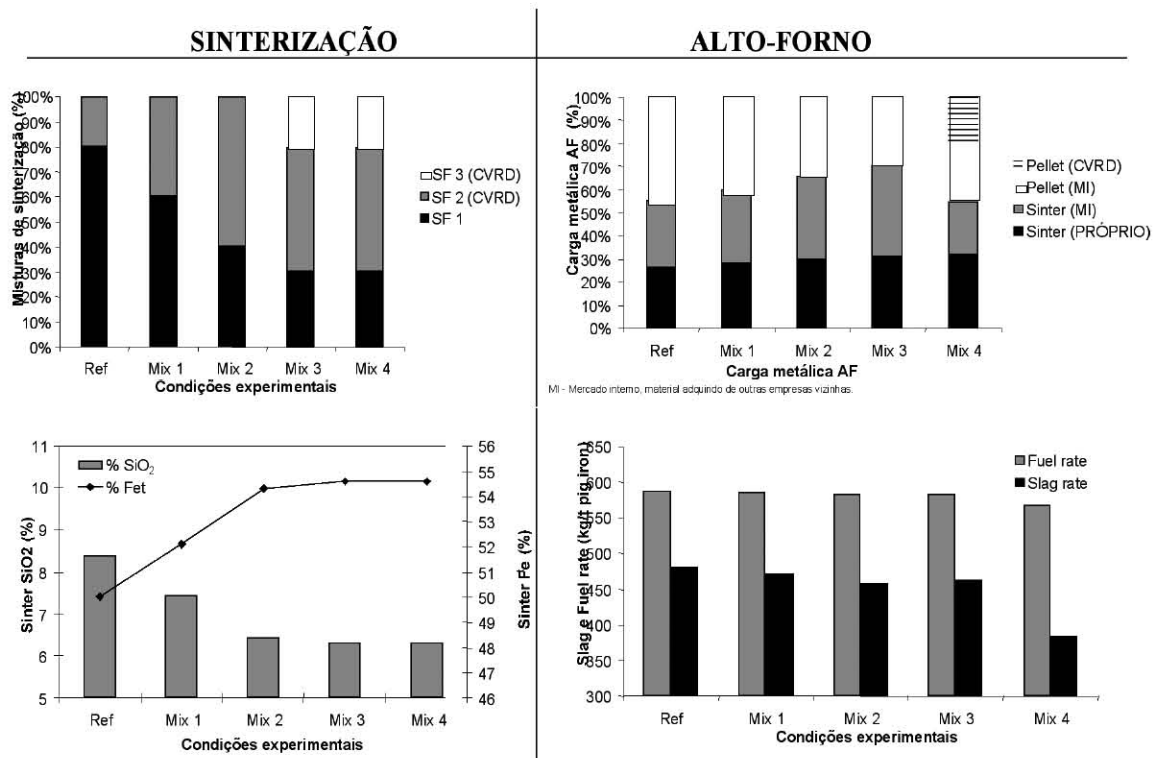


Figura 7. Principais etapas de um plano de teste em acordos de cooperação técnica

A Figura 8 mostra os resultados para a sinterização e produtividade do alto-forno. Os resultados de sinterização foram baseados nos testes piloto. Os resultados do alto-forno foram baseados na aplicação do modelo SACMIF. A produtividade da sinterização melhorou quando a proporção de sinter feed CVRD aumentou. Para o alto-forno o ganho principal de produtividade foi observado quando 20 % de pelotas de CVRD foram usados na carga do alto-forno (mistura 4).

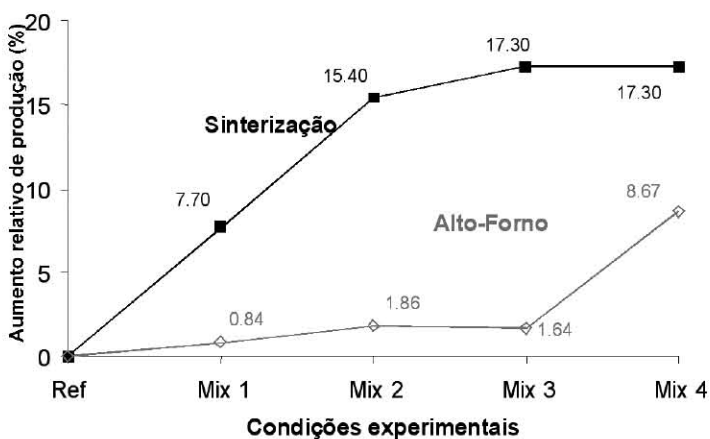


Figura 8. Aumento relativo de produção para sinterização e alto-forno.

A redução do custo de gusa é, em última instância, o principal objetivo do cliente. Em alguns casos o uso de materiais de menor custo não conduz ao custo mais baixo do gusa. A Figura 9 mostra um exemplo desta situação. Na mistura 4 o preço da carga metálica era o

maior de todas as misturas, apesar do custo total do gusa ser o mais baixo. Neste caso o custo mais elevado da carga foi compensado por uma redução significativa no consumo de combustível e em custos operacionais. A redução no consumo de combustível foi devido à redução expressiva do volume de escória e os custos mais baixos em consequência do aumento de produtividade.

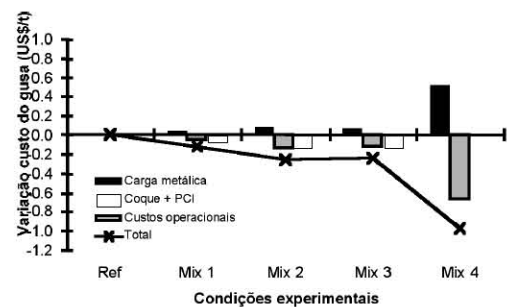


Figura 9. Previsão de redução de custo de gusa

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A política da CVRD em buscar soluções de carga metálica para os clientes baseia-se na utilização de sua capacidade tecnológica, constando de execução de testes-piloto de aglomeração, caracterização completa de

matéria-prima e uso de programas de simulação dos processos industriais desenvolvidos internamente. Novos equipamentos estão sendo adquiridos para ampliar o poder de análise e geração de soluções mais completas para o mercado. Muitos acordos de cooperação

durante a última década foram concluídos com sucesso, permitindo que o consumidor do minério de ferro encontre as melhores práticas para o uso de matérias-primas em seu processo. Estudos em conjunto realizados demonstram que existem correlações significativas entre as simulações e o resultado industrial obtido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALI, Y. M.; ZHANG, L. A methodology for fuzzy modeling of engineering systems. **Fuzzy sets and systems**, Amsterdam, v.118, n.2, p. 181-197, Mar. 2001.
2. CAPORALI, L.; SILVA NETO, P. P.; OTTONI, R.; VIEIRA, M.B.H. Iron ore microstructure-properties-performance relationship in sintering process. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF IRONMAKING, 2., 1988, Toronto, Canada. **Proceedings...** Toronto: ISS, 1998. p. 136-147.
3. DIDIER, A.; IVANIER, L. Comparaison des resultats obtenus en laboratoire et sur chaîne industrielle dans le cas de l'agglomeration sur grille. Metz: Industrie Minerale-Mineralurgie, Octobre 1974
4. GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**. Reading: Addison-Wesley, 1989.
5. HASSOUN, M. H. **Fundamentals of artificial neural networks**. Cambridge: MIT Press, 1995.
6. MARKS, R. J. **Fuzzy logic technology and applications**. New York: IEEE press, 1994. (IEEE technology update series)
7. MICHALEWICZ, Z. **Genetic algorithms + data structures = evolution programs**. Berlin: Springer, 1992.
8. NAPOLEÃO, A.; CAPORALI, L.; SILVA NETO, P. P. Iron ore research emphasis at CVRD Technology Center. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF IRONMAKING, 2., 1988, Toronto, Canada. **Proceedings...** Toronto: ISS, 1998. p.123-135.
9. NAPOLEÃO, A.; CAPORALI, L.; SILVA NETO, P. P.; VIEIRA, M.B.H.; HARUMI, L.; OLIVEIRA, D. CVRD methodology to evaluating iron ore for sintering process. In: IRONMAKING CONFERENCE, 60., 2001, Baltimore. **Proceedings...** Baltimore: ISS, 2001. p. 150-175.
10. SÀNCHEZ-SINENCIO, E.; LAO, C. G. Y. **Artificial neural networks: paradigms, applications, and hardware implementation**. New York: IEEE Press, 1992.
11. SILVA NETO, P. P., MUNIZ, G.L.F., RODRIGUES, J.C., MOREIRA, G.T.P. Evolução das técnicas de avaliação de minério de ferro para sinterização. **Metalurgia & Materiais**, São Paulo, v.37, n.284, p.373-379, jul. 1981.
12. SOUZA JR., P. A. Automation in Mössbauer data analysis. **Laboratory Robotics and Automation**, London, v.11, n.1, p. 3-23, Mar. 1999.