

# “PRODUÇÃO DE FERRO ESPONJA À PARTIR DE PELOTA CRUA”<sup>(1)</sup>

Jader Martins<sup>(2)</sup>

Neymayer Pereira Lima<sup>(3)</sup>

Luiz Francisco da Silva<sup>(3)</sup>

Emerson Kellen Lana Barroso<sup>(3)</sup>

## RESUMO

Um estudo preliminar com pelotas feitas com finos de minério de ferro de alto teor e fontes de carbono, visando a produção de ferro esponja à partir da pelota crua, foi realizado submetendo-se tais matérias primas a diferentes condições de aquecimento (temperatura, tempo, taxas de aquecimento e resfriamento, etc) e, em seguida, verificando-se as características dos produtos obtidos, tais como o grau de metalização e a resistência mecânica. Durante este trabalho, foi também estudada a influência da fonte de carbono e a granulometria deste no processo de redução direta das pelotas cruas.

Os resultados obtidos são bastante promissores, mostrando ser o processo de alta potencialidade para produção do ferro esponja, sendo também mais vantajoso que o processo convencional (alto forno) dos pontos de vista econômico e ambiental.

Palavras-chaves: pelota crua, redução direta, ferro esponja.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos, muito tem se falado sobre os novos processos de produção de ferro primário. A opção por tecnologia mais limpa, a alta escala de produção dos alto-fornos, além das exigências de matérias primas com qualidades específicas tem favorecido a busca de novos processos.

Os processos de redução direta atualmente utilizados (Midrex, Hyl e outros) tem se caracterizados por uma exigência muito rigorosa nas matérias primas, particularmente, a fonte de ferro, que são pelotas de elevados teores.

O processo de redução direta a partir de pelota crua (RDPC), assim como o processo INMETCO, desenvolvido pela Mannesman para recuperação de resíduos, se apresentam como alternativas importantes na produção de ferro primário, devido as inúmeras vantagens de ambos os processos.

O trabalho visa apresentar alguns resultados preliminares obtidos no projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais-FAPEMIG,

<sup>(1)</sup> -Contribuição técnica a ser apresentada no I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização, Ouro Preto/MG, 01 a 04 de outubro de 1996.

<sup>(2)</sup> -Membro da ABM, Professor Titular, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, MG.

<sup>(3)</sup> -Alunos de Iniciação Científica, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, MG.

Produção de Ferro Esponja à Partir de Pelota Crua Feitas de Mistura de Finos de Carvão Vegetal e Minério de alto Teor.

#### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os materiais utilizados nos experimentos foram dois tipos de fontes de carbono ( $C_1$  e  $C_2$ ) como elemento redutor, um minério de ferro de alto teor da região do Quadrilátero Ferrífero e alguns aditivos aglomerantes, tais como silicato de sódio, cal e bentonita. As características principais (análises química e granulométrica) são mostradas nas tabelas 1,2,3 e 4.

Tabela 1- Análise granulométrica do minério.

Malha (mesh tyler)	Porcentagem retida simples (%)
+100	0,070
+150	10,32
+200	16,24
+270	17,94
+325	11,70
+400	10,40
-400	33,33
total	100,00

Tabela 2- Composição Química do minério

Elemento Químico	Porcentagem (%)
$Fe_2O_3$	97,45
$SiO_2$	2,34
outros	0,21

Tabela 3- Análise granulométrica das fontes de carbono ( $C_1$  e  $C_2$ ).

Malha (mesh Tyler) #	Porcentagem retida simples (%)	
	$C_1$	$C_2$
+48	0,12	0,01
+65	0,16	0,29
+100	1,12	1,63
+150	8,30	7,33
+200	13,21	16,17
+270	20,72	48,71
+325	7,80	8,87
+400	19,83	11,45
-400	28,77	5,54
Total	100,00	100,00

Tabela 4- Composição Química das fontes de

Elemento químico	Porcentagem (%)	
	$C_1$	$C_2$
$C_{fixo}$	90,00	55,85
Voláteis	8,00	35,48
Cinza	0,15	2,41
Umidade	1,85	6,26
Total	100,00	100,00

As fontes de carbono foram usadas em duas quantidades diferentes:

\* quantidade estequiométrica, calculada com base nas análises químicas do minério e das fontes de carbono.

\* vinte e cinco por cento (%) além da quantidade estequiométrica. Esta quantidade foi escolhida com base em trabalhos anteriores que empregaram tal quantidade com bons resultados.

Além de se variar a quantidade de fonte de carbono, foram também estudadas as seguintes variáveis:

\* granulometria da fonte de carbono: para cada uma das quantidades acima, foram estudadas duas granulometrias: 100% abaixo de 48# e 100% abaixo de 270#. Esta variável teve o objetivo de se estudar a influência da granulometria na cinética de redução direta.

\* tipo de aditivo aglomerante utilizado: foram analisados os efeitos dos seguintes aditivos: bentonita(2%) + cal(1%) e silicato de sódio(2%) e cal(1%).

As pelotas usadas foram selecionadas na faixa de 10 a 13mm de diâmetro, sendo secadas completamente antes de entrarem no forno.

O processo de redução direta foi levado à cabo em forno elétrico tipo mufla por meio de cadinhos de porcelana. Foram estudadas, nesta situação, duas condições:

\* as pelotas eram colocadas no cadinho sem nenhum isolamento (tampa ou manta isolante).

\* as pelotas eram colocadas no cadinho revestido com manta isolante e com tampa à fim de diminuir o oxigênio dentro do cadinho.

Foram estudadas duas temperaturas para redução do minério: 1000 e 1100°C, sendo estudado também o tempo de residência das pelotas a estas temperaturas; assim, foram usados 4 tempos de permanência à temperatura de redução: 30, 60, 90 e 120 minutos.

Foram usadas duas taxas de resfriamento: uma muito lenta e outra muito rápida. Foram também estudadas diferentes taxas de aquecimento.

As pelotas obtidas foram caracterizadas quanto ao grau de metalização e à resistência à compressão. O grau de metalização se refere à razão entre o teor de ferro metálico (Fe) e o teor de ferro total do minério (97,45% segundo Tabela 2), expresso em porcentagem. A resistência à compressão foi obtida através de uma prensa manual com o resultados expressos em Kgf/pelota.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas apresentadas à seguir mostram alguns resultados obtidos durante o trabalho, sendo feitas à seguir algumas discussões.

Tabela 5- Influência da granulometria e da fonte de carbono no grau de metalização e resistência à compressão das pelotas reduzidas.

granulometria (mesh Tyler)	grau de metalização (%)		Resistência à compressão(Kgf/pelota)	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
<48	48,30	7,60	62,25	8,17
<200	61,00	8,20	72,67	21,13

Dos resultados acima (Tabela 5), observa-se que para as duas fontes de carbono (C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>), há uma tendência do aumento do grau de metalização e da resistência com a diminuição da granulometria das citadas fontes. Isto pode ser explicado pelo fato de a

reatividade e homogeneidade da fonte de carbono aumentar com a diminuição de sua granulometria, haja visto ocorrer um aumento da superfície específica.

Outro fator de grande importância a ser considerado é quanto a maior quantidade de voláteis presente na fonte de carbono  $C_2$ , que torna as pelotas mais porosas, menos resistentes e com aspectos de expansão volumétrica. Esta grande quantidade de voláteis (35,48%) também deve influenciar no grau de metalização da pelota, conferindo permeabilidade e possibilitando a entrada  $O_2$  externo através dos poros formados pela saída dos materiais voláteis.

Observa-se ainda que a resistência à compressão das pelotas reduzidas aumenta com o grau de metalização, possivelmente por haver sinterização do material reduzido (ferro metálico). Conforme se sabe, a sinterização do ferro óxido ocorre a temperaturas bem mais elevadas; assim, as temperaturas utilizadas no trabalho (1000 e 1100°) não permitiriam a sinterização da pelota, à menos que se tratasse de ferro reduzido, o que certamente deve estar ocorrendo. É possível que também tenha havido uma reoxidação "sinterizante". Além da alta resistência à compressão, a presença de sinterização pode ser observada pelo aspecto das pelotas.

Tabela 6- Influência da porcentagem da fonte de carbono no grau de metalização das pelotas reduzidas.

Porcentagem da fonte de carbono(%)	grau de metalização	
	$C_1$	$C_2$
estequiométrica	47,02	7,60
25% >estequiométrica	64,05	51,08

Da tabela 6, pode-se observar que o aumento da quantidade de fonte de carbono promove aumento no grau de metalização. Isto pode ser explicado pelo fato do carbono reagir também com o  $O_2$  presente na atmosfera do forno, não sendo o carbono disponível usado exclusivamente para redução do minério; assim um aumento na quantidade de fonte de carbono (além da estequiométrica) aumenta o carbono disponível para redução do minério.

Tabela 7- Influência da taxa de aquecimento no grau de metalização e resistência à compressão das pelotas.

Taxa de aquecimento	grau de metalização (%)	Resistência à compressão (Kgf/pelota)
rápido	47,02	31
lento	33,04	50

Observa-se na Tabela 7 que o aquecimento rápido promove melhores resultados que o aquecimento lento, certamente por preservar a fonte de carbono até a temperatura que favoreça a cinética de redução do minério. O aquecimento lento deve propiciar a oxidação do elemento redutor antes do momento de redução.

Tabela 8- Influência da taxa de resfriamento no grau de metalização e resistência à compressão das pelotas reduzidas.

Taxa de resfriamento	grau de metalização (%)	Resistência à compressão (Kgf/pelota)
rápido	47,02	31,00
lento	0,76	62,26

Na Tabela 8, verifica-se que o resfriamento rápido propicia melhor grau de metalização, enquanto o resfriamento lento gera baixa metalização, provavelmente ocasionada por uma reoxidação. Observa-se também, neste caso, que a resistência à compressão é favorecida pelo resfriamento lento, o que deve ser investigado mais detalhadamente.

Tabela 9- Influência da atmosfera no leito superior das pelotas no grau de metalização.

atmosfera	grau de metalização (%)
“mais oxigenada”	57,20
“menos oxigenada”	69,90

Pode-se observar que a quantidade de O<sub>2</sub> disponível na atmosfera e em contato com as pelotas influencia no grau de metalização, que em maiores quantidades passa a competir com o O<sub>2</sub> do minério reduzindo assim o grau de metalização.

Tabela 10- Influência da temperatura no grau de metalização.

Temperatura (°C)	grau de metalização (%)	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
1000	16,00	12,25
1100	48,23	25,00

## CONCLUSÃO

Os resultados preliminares, indicam que variáveis tais como, taxa de aquecimento, temperatura de redução, tipo de carvão, percentagem de carvão, granulometria do redutor entre outros, afetam sobremaneira o grau de redução.

O processo de Redução Direta à Partir de Pelota Crua (RDPC) se mostra de grande potencialidade (viabilidade econômica e ambiental), devendo-se estudar com maior profundidade a influência das variáveis acima mostradas à fim de se obter maiores graus de metalização e maiores resistências à compressão.

## AGRADECIMENTOS

Deixa-se registrado, aqui, o agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão das bolsas de pesquisa aos alunos que participaram deste trabalho e pelo financiamento do projeto. Agradece-se, também, aos

docentes da UFOP, Feliciano Rodrigues dos Santos e Patrícia pelo auxílio dado ao trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABM. Curso Novos Processos de Produção de Ferro Primário. 23 a 25 de outubro de 1995, Belo Horizonte, MG.
- GONÇALVES, A.M.F. et alli. Uso de Ferro de Redução Direta na Indústria Siderúrgica. 1985, Salvador, BA.
- MOURÃO, J.M. et alli. Uso de Aglomerantes Sintéticos em Pelotização: A Experiência da CVRD. Outubro a Dezembro de 1993, Revista Escola de Minas, 46 (4) : 291-9.
- BROSH, C. D. Fusão de Pelotas Auto redutoras em forno cubilô. 1964. Contribuição Técnica nº 536 XIX Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP.
- BATTELE, Report. 1973 Reduction Processes Outside the Blast Furnace and their Effect on Future Iron and Steel Production in the World.

#### “PRODUCTION OF SPONGE IRON FROM GREEN PELLETS”

#### ABSTRACT

A preliminar study of pellets made out of fine iron ore and fine source of carbon, aiming producing sponge iron from green pellets was carried out, investigating different heating conditions ( temperature rate, temperature and cooling ). It was also studied the effect of type of carbon source and size distribution of the reducing agent.

The results are very promising, other studies must investigate more profoundly the effects of those variable mentioned above.

Key-words: green pellets, direct reduction, sponge iron.