

ESTUDO PARA INVESTIGAÇÃO DE TRINCAS EM PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO*

Rossano Augusto Pilon Nunes¹
Erica Simões Rodrigues²
Fernanda Alves³

Resumo

A pelletização é um dos processos desenvolvidos para permitir utilização dos finos (pellet feed) nos reatores de redução. O produto gerado denominado 'pelota' possui alto valor agregado e características físicas e metalúrgicas próprias. Dentro das características físicas temos as trincas que são defeitos internos e/ou superficiais que prejudicam o desempenho das pelotas nesses reatores. O estudo visou investigar as variáveis que mais contribuem para geração das trincas e em que etapa do processo a geração é mais significativa. A investigação avaliou duas usinas de pelletização de Tubarão, na geração de trincas e comparou as principais variáveis de processo segundo a literatura. Esta avaliação se deu em escala piloto utilizando um forno tipo pot-grate e mostrou forte influência das etapas de secagem descendente e pré-queima. O trabalho foi de suma importância para uma atuação mais direcionada em um futuro teste industrial.

Palavras-chave: Trincas; Minério de ferro; Pelotização.

STUDY OF CRACKS IN IRON ORE PELLETS

Abstract

Pelletizing is one of the processes developed to allow the use of pellet feed in reduction reactors. The product called pellet has high added value and its own physical and metallurgical characteristics. Within the physical characteristics we have the cracks that are internal and / or superficial defects that impair the performance of the pellets in these reactors. The study aims to investigate the variables that contribute the most to the generation of cracks and in which stage of the process the generation is more significant. The research evaluated a Tubarão pelletizing plant in the generation of cracks and compared the main process variables per the literature. This evaluation was carried out in a pilot scale using a pot-grate type furnace and showed strong influence of the steps of downdraft drying and pre-heating. The work was of paramount importance for a more focused performance in a future industrial test.

Keywords: Cracks; Iron ore; Pelletizing.

¹ Engenheiro Metalurgista, Engenheiro Pleno, Engenharia de Processo e Desenvolvimento Pelotização, Vale, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

² Graduanda em Engenharia Metalúrgica, estagiária, Engenharia de Processo e Desenvolvimento Pelotização/ Vale, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

³ Técnica em Metalurgia, Técnica de Laboratório, Gerencia de Programação e Qualidade da Pelotização, Vale, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os finos de minério de ferro (*pellet feeds*) compõem a matéria prima do processo de pelletização, que visa aglomerá-los para utilização em altos fornos, na obtenção de ferro gusa ou fornos de redução direta, para obtenção de ferro esponja[1].

As principais etapas do processo de pelletização envolvem cominuição das partículas, aglomeração e queima. A cominuição visa adequar o tamanho das partículas para conferir as propriedades físicas e metalúrgicas desejadas no produto final[4], a aglomeração dá forma e características físicas as pelotas verdes e a queima visam endurecer as pelotas verdes conferindo as propriedades finais as mesmas.

O processo de queima em questão ocorre em 7 etapas, secagem ascendente, descendente pré-queima, queima, pós-queima, resfriamento primário e secundário. Durante o estágio de secagem a umidade que está confinada nos capilares e poros das pelotas cruas é evaporada por gases quentes provenientes do resfriamento secundário e região de queima. Quando o gás de secagem flui através do fundo da camada de pelotas, ele absorve **certo** volume de umidade até a saturação. A temperatura dos gases da secagem esfria da temperatura inicial de entrada para a temperatura de saturação. Este vapor de água saturado vai de encontro ao leito de pelotas úmidas e frias e parte da água evaporada irá condensar. Com o efeito parte do leito de pelotas terá sua umidade elevada, conforme pode ser visto na figura 1 com isso a resistência da pelota decresce ocorrendo a deformação plástica de parte do leito. A combinação de secagem ascendente e descendente é aplicada para mitigar esse efeito danoso. Durante a secagem ascendente o leito inferior será secado e aquecido primeiro, logo durante a subsequente secagem descendente, os leitos superiores são secados e aquecidos e o fluxo de gás saturado irá de encontro a pelotas secas e aquecidas dos leitos inferiores sem resfria-las abaixo do ponto de orvalho. Esse efeito de condensação do vapor d'água chama-se over moistening e ocorre no meio e no topo do leito de pelotas, linha vermelha e linha azul respectivamente.

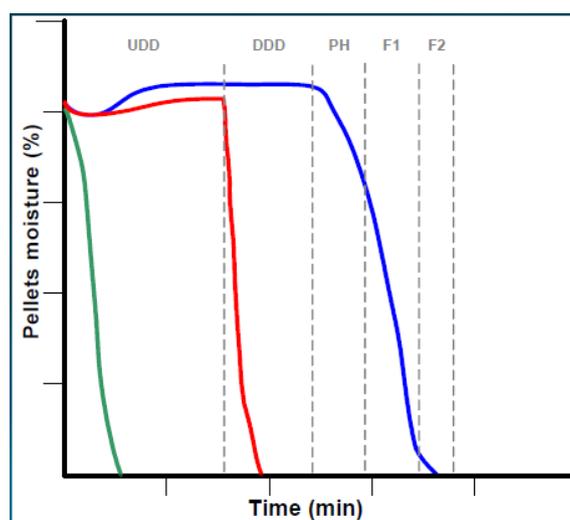


Figura 1. Curvas de secagem em três posições do leito de pelotas, adaptado de [5].

Trincas em pelotas de minério de ferro são defeitos internos ou que afloram a superfície das pelotas resultantes de esforços de compressão nas etapas de secagem em função do excesso de umidade nas camadas intermediárias e superiores durante o aquecimento do leito de pelotas. As trincas estão associadas a perda de resistência, que por sua vez está associada a saturação dos poros da pelota com água [2], a figura 2 ilustra a saturação da pelota em função da umidade para as dosagens de aglomerante praticadas [3].

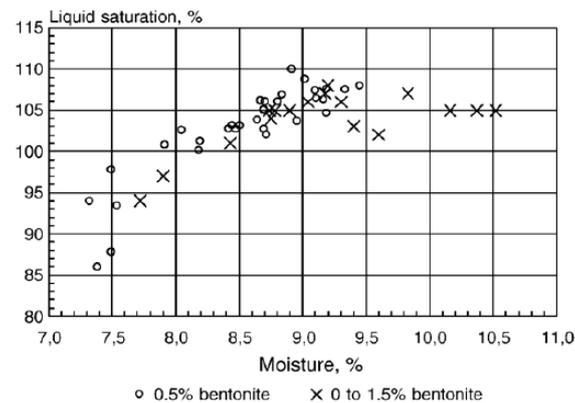


Figura 2. Saturação de líquido em função da umidade, adaptado de [3].

No entanto as trincas também podem surgir na etapa de pré-queima durante a liberação da água quimicamente ligada, calcinação dos calcários, liberação de materiais voláteis e queima do antracito, nesse caso as frestas geradas na superfície das pelotas tendem a ser menores e as classificamos como trincas térmicas. As trincas geradas nas etapas de secagem tendem a ter frestas maiores e de tamanho variável do fundo até a superfície das pelotas, características de deformação por esforços mecânicos. As figuras 3 e 4 ilustram os tipos mais comuns de trincas.



Figura 3. Pelotas com trincas mecânicas.



Figura 4. Pelotas com trincas térmicas.

As trincas mecânicas possuem um efeito negativo mais pronunciado na resistência a compressão das pelotas, visto que os volumes das discontinuidades são maiores o que reduz a área sob esforço durante o teste. A tabela 1 apresenta a resistência à compressão relativa de pelotas com e sem trincas nos dias 16 a 18/05/2016.

Tabela 1. Resistência a compressão relativa por tipo de defeito

dia	sem trincas	com trincas térmicas	com trinca mecânica
16	100%	104%	80%
17	100%	90%	75%
18	100%	85%	66%
media	100%	93%	73%

Para avaliar os parâmetros que mais impactam na geração de trincas, optou-se por ensaiar em escala piloto, visto que as variações do processo industrial poderiam dificultar a interpretação dos resultados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o impacto no leito superior da cama de pelotas, quando exposto a temperaturas encontradas na secagem descendente e pré-queima, foi realizado um teste em mufla da marca Quimis e modelo Q-318M24 com pelotas colhidas diretamente do circuito de pelotamento da usina em estudo e dispostas em um cadinho por 10 minutos, as temperaturas ensaiadas foram 300, 400, 500 e 600°C.

Para avaliar a geração de trincas durante o processamento no forno foram realizados 7 testes em escala piloto com forno tipo pot-grate da planta piloto da Diretoria de Pelotização da Cia Vale SA, Complexo de Tubarão - Vitória, Espírito Santo - Brasil, para avaliar o impacto de cada etapa na geração de trincas os testes foram interrompidos após cada etapa e foi realizado a contagem das trincas mecânicas. Afim de termos uma amostra do leito onde fosse possível avaliar as pelotas ao longo da altura de carga foi utilizado uma cesta de aço especial (basket test.) com 400mm de altura de modo a permitir remover uma fração das pelotas carregadas após o teste conservando sua distribuição pela altura, deste modo a amostra foi dividida em topo, meio e fundo. A divisão se deu pela medição da altura total do leito de pelotas. A figura 5 mostra o basket sendo retirado do forno.

**Figura 5.** Basket sendo removido do pot-grate.

As pelotas verdes foram produzidas em disco piloto a partir de polpa de minério prensado coletada na usina em questão, para cada batelada de pelotas produzidas foram realizadas análises de umidade numa termobalança da marca Toledo Brasil

modelo MB45, análises de resistência das pelotas verdes, secas e número de quedas.

O esquema de testes com as temperaturas e pressões utilizadas está contido na tabela 2, abaixo:

Tabela 1. Pressões e temperaturas adotadas para os testes

CONDIÇÕES ADOTADAS PARA O EXPERIMENTO			
Teste	Zonas	Pressão do Gás no leito (mmca)	Temperatura do Gás (°C)
1	Sec. Ascendente.	350	300
2	Sec. Ascendente.	500	380
3	Sec. Ascendente. + Sec. Descendente.	400/350	350/370
4	Sec. Ascendente. + Sec. Descendente.	400/450	350/390
5	Sec. Ascendente. + Sec. Descendente. + Pré-Queima	400/400/400	350/380/1100
6	Sec. Ascendente. + Sec. Descendente. + Pré-Queima	400/400/450	350/380/1230
7	Sec. Ascendente. + Sec. Descendente. + Pré-Queima	400/400/450	350/380/940

Para gerar uma compactação no leito similar ao que ocorre no carregamento do forno industrial, o carregamento do pot-grate se deu respeitando a altura de queda para o carro de grelha da usina estudada, a figura 6 ilustra o carregamento com pelotas verdes.



Figura 5. Alimentação do pot-grate

Nos ensaios de 1 a 4 uma alíquota do topo meio e fundo foi retirada para determinação da umidade das pelotas e o restante foi seco em mufla a 105°C por 1 hora, a secagem visa elevar a resistência da pelota e reduzir a quebra das mesmas durante a contagem das trincas. Nos ensaios de 5 a 7 as pelotas pré-queimadas foram mantidas no forno esfriando lentamente e sua remoção se deu no dia posterior ao ensaio, para estes testes foi realizado ensaio de resistência a compressão das pelotas.

Em função da sua baixa contribuição para queda da qualidade física das pelotas as trincas térmicas não foram quantificadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização das pelotas verdes

A tabela 3 apresenta os resultados das análises das pelotas verdes utilizadas para os 7 testes.

Tabela 3. Ensaio físicos da pelota verde

ANALISE DA PELOTA VERDE							
n° teste	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
%H2O	8,42	8,42		8,46		8,38	
RPS	3,10	3,13		3,71		2,99	
NQ	2,20	2,20		2,13		2,20	
RPC	0,90	1,01		1,23		1,02	

Os resultados mostram que as pelotas cruas produzidas nos quatro dias de testes possuem resultados bem próximos, principalmente de umidade, resiliência - número de quedas (NQ) e resistência a verde (RPC), fator primordial para comparação entre ensaios, visto que a resistência associada á umidade do leito são fatores causadores de trincas.

Para os ensaios que foram interrompidos na secagem, foi feita umidade das pelotas para se comparar o impacto das diferentes condições de temperatura e pressão adotados de acordo com a tabela 4:

Tabela 4. Ensaio de umidade % das pelotas na secagem

Ensaio	topo	meio	fundo
1	7,76	7,15	0,17
2	6,34	4,6	0,12
3	0,23	2,31	0,1
4	0,06	3,38	0,61

Os resultados dos ensaios 1 e 2 onde apenas foram feitos secagem ascendente são coerentes com os ajustes adotados, a menor umidade encontrada no ensaio 2 se dá pela elevação da pressão e temperatura adotados. Nos ensaios 3 e 4 onde foram feitas secagens ascendente e descendente a umidade do meio do leito apresentou resultado inverso ao esperado pois o ensaio 4 operou com temperatura e pressão de gás mais elevados, essa inversão pode ser causada por uma piora na permeabilidade do leito frente a condições mais agressivas do teste 4, o que resultou numa secagem pior.

As pelotas pré-queimadas dos ensaios 5 a 7 foram tiveram sua resistência a compressão medida, os resultados estão na tabela 5.

Tabela 5. RPS (daN/pel) de pelotas ensaiadas até a pré-queima.

teste	Topo	Meio	Fundo
5	35,6	16,87	3,07
6	18,15	17,77	3,17
7	18,78	17,39	2,64

Os dados mostram que as pelotas do fundo apresentam resistência similar a pelotas que foram apenas secas independente da temperatura final de pré-queima, as pelotas das posições meio e topo da camada de pelotas atingiram temperaturas e permaneceram tempo suficiente para queima do antracito dosado, calcinação do calcário e perda da água quimicamente combinada, porém sem estarem expostas a temperaturas suficientes para permitirem ocorrer os mecanismos de endurecimento elas apresentam resistências baixas, como esperado.

As trincas mecânicas foram medidas e estão apresentadas no gráfico da figura 6.



Figura 6. Gráfico das trincas mecânicas por teste.

Os resultados mostraram que elevar a vazão e temperatura na secagem ascendente elevou a geração de trincas no fundo de 1,4 para 7%, pode se observar também que realizar secagem descendente mais agressiva gera um incremento significativo nas trincas de 5 para em média 13%.

Os ensaios 5 e 6 apresentaram um nível de trincas de mesma ordem ao praticado no forno industrial, as temperaturas adotadas são as praticadas na rotina, o ensaio 7 apresentou melhor resultado dentre os que foram até a pré-queima, a associação de secagens não tão agressivas com uma pré-queima bem suave são os prováveis motivos para os bons resultados.

Os dados obtidos comprovam que a etapa de pré-queima é crítica para geração de trincas assim como anteriormente comprovado por Fonseca [2].

4 CONCLUSÃO

A análise das trincas mecânicas pode mostrar que elevar a taxa de secagem durante as etapas de secagem ascendente e descendente eleva a geração de trincas. A etapa de secagem descendente mesmo que branda possui contribuição na geração de trincas. A umidade residual no leito que chega a etapa de pré-queima juntamente com as reações pertinentes a esta fase são as responsáveis pela maior contribuição nos resultados de trincas.

Os menores níveis de trincas mecânicas foram obtidos com taxas de aquecimento da ordem de 110°C/min.

Agradecimentos

As equipes do laboratório físico e planta piloto da Diretoria de pelotização da Cia Vale SA, Vitória E.S, que muito contribuíram para o sucesso do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Meyer K. Pelletizing of Iron Ores. Wurzberg, Druckerei, 1980.
- 2 Fonseca MC – Influência da Distribuição Granulométrica do Pellet Feed no Processo de Aglomeração e na Qualidade da Pelota de Minério de Ferro para Redução Direta - 126 páginas. Dissertação de Mestrado, REDEMAT – Ouro Preto, 2004.
- 3 Forsmo, S.P.E. et al. Binding mechanisms in wet iron ore green pellets with a bentonite binder. Powder technology, v.169,p.147
- 4 Umadevi, T. et al. Influence of raw material particle size on quality of pellets. Institute of materials, minerals and mining, v.35, n.5, 2008
- 5 Garant, M. Semi-industrial testing procedure to evaluate pellet drying. 2º symposium on iron ore pelletizing. COREM, 2008.