

ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO EFEITO DE AGLOMERANTES DE DIFERENTES NATUREZAS NA MICROESTRUTURA DE PELotas DE CONCENTRADOS DE MINÉRIO DE FERRO¹

Sandra Lúcia de Moraes²

Monica Speck Cassola³

Resumo

Este estudo visou comparar o desempenho dos diferentes aglomerantes, quais sejam, bentonita e aglomerante orgânico de uso comercial, na microestrutura das pelotas confeccionadas com concentrado de minério de ferro. Com este objetivo foram estudadas quatro diferentes amostras de concentrados de minério de ferro de diferentes procedências de minas brasileiras. Foram ensaiadas pelotas produzidas em disco de pelotização de laboratório através da rotina de ensaios que incluíram: compressão simples das pelotas úmidas e secas e tratadas termicamente à temperatura de 1350°C, quedas repetidas das pelotas úmidas e ensaios de choque térmico. Quanto a análise microestrutural das pelotas após o tratamento térmico, foram identificadas as pontes cerâmicas características quando do uso da bentonita como aglomerante no caso de todos os concentrados estudados, fato este que não ocorreu quando foi utilizado o aglomerante orgânico. De modo geral, pôde-se concluir que o aglomerante orgânico, em comparação à bentonita, tem o melhor desempenho na obtenção da *commodity* final que é a pelota “queimada” para os concentrados de minério de ferro estudados.

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

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF EFFECT OF DIFFERENT KIND OF BINDERS IN IRON ORE PELLETS MICROSTRUCTURE

Abstract

This study aimed to compare the performance of two different kind of agglomeration binders, bentonite and Peridur, the second one is an organic binder of commercial use, in the iron ore pellet structure. With this goal were studied four distinct samples of iron ore concentrate, from different Brazilian mines. Pellets made in a laboratory pelletizing disc were tested, the characterization included simple compression of green, dried pellets and fired pellet at 1350°C, wet-knock test, and shock temperature. From the obtained results it is possible to conclude that the organic binder, compared to bentonite, presents better results.

Key words: Iron ore; Pelletization; Binder.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² MSc em Eng^a Mineral, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.

³ PhD em Eng^a Mineral, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.

1 INTRODUÇÃO

Os estudos de aglomeração de finos de minério de ferro iniciaram-se na Europa, porém a primeira aplicação industrial foi nos Estados Unidos. No Brasil, a tecnologia chegou quase que na década de 70, com o início e consolidação das atividades com minérios de ferro da Companhia Vale do Rio Doce.

A aglomeração por pelletização é o método padrão aplicado para transformar frações finas de minério de ferro (menores que 0,1 mm) em um produto adequado para a alimentação dos fornos de redução, onde será transformado em gusa ou ferro esponja.

O Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro e de pelotas do mundo; em 2003, sua produção de minério de ferro e de pelotas foi de, respectivamente, cerca de 234 milhões de toneladas e 45,2 milhões de toneladas.

O minério de ferro brasileiro apresenta naturalmente alto teor de ferro contido, podendo ultrapassar os 60%, e quantidade relativamente pequena de impurezas no material constituinte da camada superficial (normalmente formado por hematitas). O proto-minério, formado por itabiritos, embora apresente teores de Fe menores, vem sendo concentrado desde a década de 70. O minério pulverulento beneficiado e os concentrados, denominados *pellet feed*, têm de passar por processo de aglomeração por pelletização para o seu aproveitamento. Essa tendência resultou, principalmente, do fato de os grandes produtores de minério de ferro, com o esgotamento progressivo dos minérios mais ricos, terem de tratar minérios mais pobres, removendo a sílica por flotação ou por outros processos, produzindo concentrados finos em pó; como nesta forma não podem ser utilizados nos altos-fornos e nos fornos de redução direta, sua aplicação em siderurgia passou a depender de operações de aglomeração, principalmente pelo processo de pelletização.

A crescente sofisticação das indústrias siderúrgicas está fazendo com que este processo, ganhe cada vez mais importância na cadeia produtiva.⁽¹⁾ Obter pelotas mais adequadas à produção de cada tipo de aço se tornou tão importante que as mineradoras começaram a se preocupar, não apenas com a qualidade e a quantidade de minério de ferro fornecido, como também com a diversidade de tipos de pelotas oferecidas. Dois elementos desempenham papéis importantes neste contexto, os quais fornecem diferencial competitivo às empresas: a origem do minério de ferro e os aditivos utilizados na etapa de aglomeração, em especial os aglomerantes.

O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho das pelotas confeccionadas com concentrados de minério de ferro de diversas minas brasileiras usando aglomerantes de diferente natureza (orgânica e inorgânica) através da análise microestrutural das pelotas. Os aglomerantes estudados foram a bentonita e o orgânico comercial *Peridur*, por serem os utilizados pelas pelletizadoras. Para isto foram comparados os desempenhos dos aglomerantes na qualidade das pelotas “verdes”, secas a 105°C, quando submetidas ao ensaio de choque térmico e após tratamento térmico à temperatura de 1350°C, bem como a determinação da resistência da pelota “verde” a quedas sucessivas de uma altura de 45 cm.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de pelotização é essencialmente baseado na formação das pelotas “verdes” pelo rolamento dos finos do minério ou concentrado, previamente misturado com os aditivos (calcário, carvão) e o aglomerante. A adição de quantidade adequada de água é uma variável dependente da umidade natural do concentrado de minério e de suas características superficiais.

Para a formação das pelotas “verdes” duas fases são essenciais: uma sólida (minério) e outra líquida (água). Conforme Silva,⁽²⁾ as forças de interação geradas nas interfaces sólido/líquido têm um efeito coesivo sobre as partículas. As forças responsáveis pela formação dos aglomerados podem resultar de inúmeras fontes, sendo as principais as forças interfaciais e capilares, devido à presença da fase líquida. As pelotas “verdes” têm uma resistência à compressão da ordem de 1 kgf por pelota, a qual é insuficiente para serem utilizadas nos altos fornos. Para tal, as mesmas necessitam de uma resistência da ordem de 250 kgf por pelota, que é atingida quando são submetidas a aquecimento a temperaturas da ordem 1350°C, onde se dá a recristalização ou intercrescimento das partículas.

Como mencionado, a pelotização é obtida com a adição aos sólidos de quantidade adequada de água, fator fundamental na formação e no crescimento das pelotas, que cria uma tensão superficial que mantém os grãos minerais coesos, permitindo assim o seu manuseio, conforme Lima.⁽³⁾ Esta tensão de coesão de partículas finas devido à água é denominada tensão neutra. A tensão neutra, no entanto, não é suficiente para manter a coesão dos grãos de um minério de densidade tão elevada quanto a de ferro. Além disto, quando esta pelota é aquecida e ocorre a vaporização da água, a pelota tende a se desintegrar. Para prevenir tais efeitos são acrescidos aditivos que visam: aumentar a resistência da pelota antes do aquecimento (resistência a “verde”); evitar o colapso destas nas etapas iniciais do aquecimento, quando grande volume de gases gerados pela vaporização de água tende a destruir a pelota. Pelotas de minério de ferro, destinadas ao processo de redução nos altos fornos, ou nos fornos de redução direta, com composição e diâmetro aceitáveis e possuindo características físicas e metalúrgicas favoráveis, somente podem ser obtidas se, à carga, forem adicionados aditivos e se, em seguida se fizer um processamento térmico em temperatura elevada que assegure a constituição de fases novas e a recristalização, mesmo parcial, da hematita. Outrossim, com minerais de densidade tão alta como a hematita, a tensão superficial da água, por si só não parece ser suficiente para manter a coesão. Outros produtos, denominados **aglomerantes** precisam ser adicionados à mistura a pelotizar, com os objetivos de: aumentar a viscosidade da fase líquida dentro dos capilares; manter a pelota verde coesa (aumentar a resistência a verde); e auxiliar, durante a “queima”, a formação de pontes cerâmicas ou de óxido de ferro ou ainda a escorificação em pontos discretos, assim contribuindo para o aumento da resistência da pelota após a queima.

O aglomerante clássico para a pelotização de minério de ferro é a bentonita. Segundo Porto et al.,⁽⁴⁾ bentonita é o nome genérico das argilas constituídas essencialmente de minerais do grupo das esmectitas. As esmectitas possuem como características principais o alto poder de inchamento, elevada área superficial, capacidade de troca catiônica (CTC) na faixa de 60 a 170 meq/100g e tixotropia, que consiste na capacidade reversível de tornar-se líquida quando agitada ou bombeada e de se tornar gel quando cessado o movimento.

De acordo com Ripke,⁽⁵⁾ a bentonita aumenta a resistência das pelotas de minério de ferro, primeiramente, pela ação do material coloidal que diminui as distâncias entre partículas e, então aumenta a força de Van der Waals. Segundo, forma uma ligação sólida pelo gel endurecido, que gera resistência das partículas nos pontos de contato. Quando usada a bentonita, a resistência das pelotas secas ocorre pela dispersão da umidade e pela redeposição das plaquetas de bentonita nos pontos de contato das partículas constituintes das pelotas. A dosagem típica de adição de bentonita como aglomerante na pelletização de minério de ferro é da ordem de 0,5 a 0,7% em massa. Este nível de dosagem está no limite superior de adição, quantidades maiores não são vantajosas devido ao custo e a incorporação de sílica nas pelotas.

Aglomerantes utilizados nos processos de pelletização que após tratamento térmico não deixassem resíduos seriam extremamente interessantes. Teriam sobre a bentonita as vantagens de, por serem produtos industrializados, não sofrerem variação de qualidade e a quantidade adicionada ser muito menor, da ordem de 0,05%, o que é importante do ponto de vista logístico (menor volume a ser estocado e transportado) e econômico.

Vários produtos vêm sendo estudados (carboximetilcelulose-CMC, goma guar, hemicelulose, acrilato de amido, poliacrilamidas dentre outros). Lima⁽³⁾ estudou o uso da CMC como aglomerante na pelletização de minério de ferro. Experiências anteriores com o uso de reagentes orgânicos haviam levado a pelotas de propriedades mecânicas fracas, especialmente a quente, a custo de produção muito elevado ou a adição de água na pelletização muito altas - a ponto de causar a deformação da pelota sob seu próprio peso. Estes problemas foram resolvidos pela adição de um aditivo em conjunto com a CMC, no caso o tripolifosfato de sódio (TPP).

Motivados pelos indicativos de potencial de utilização da CMC obtidos por Lima,⁽³⁾ Cassola e Chaves⁽⁶⁾ estudaram aglomerantes para minério de ferro visando a substituição da bentonita; duas linhas de investigação foram iniciadas: a primeira contemplava o *modus operandi* clássico de usar bentonita e CMC+TPP, a segunda contemplava a substituição da bentonita, CMC, e CMC+TPP por produtos alternativos. Os ensaios mostraram que o TPP sozinho era mais efetivo na pelletização que a mistura CMC+TPP. Isto permitiu a elaboração da hipótese de que o efeito verdadeiramente importante na aquisição de propriedades mecânicas pela pelota era devido à ação do aditivo sobre os finos de minério presentes na amostra, ou seja, ao efeito de cristalização/ cimentação de materiais constituintes dos grãos dissolvidos.

O aglomerante orgânico mais usado atualmente nas usinas de pelletização é o *Peridur*, um derivado da celulose desenvolvido pela empresa AKZO⁽⁷⁾ para a pelletização de minério de ferro. Lima⁽³⁾ cita que Steeghs et al. descreveram ensaios utilizando *Peridur* como aglomerante para concentrados de taconito americano e observaram que o *Peridur* inicialmente dissolve-se na água e associa moléculas de água ao redor de sua estrutura. Sendo assim, quanto maior a quantidade de água que puder ser associada ao *Peridur*, menor será a adição do aglomerante. O *Peridur* resulta em uma solução viscosa com estrutura contínua quando úmido e semelhante a uma ponte, quando seco, do que decorre a resistência das pelotas. O *Peridur* tem como vantagem a não contaminação das pelotas por sílica, pois é eliminado durante o tratamento térmico, conseqüentemente aumenta o teor ferro contido. A dosagem normalmente utilizada é de 0,05% em peso de concentrado úmido. Tem como principais desvantagens o elevado custo e a alta higroscopicidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Seguiu-se o método de avaliação do comportamento dos aglomerantes orgânico *Peridur* e inorgânico (bentonita) no processo de pelletização com 4 tipos de concentrado de minério de ferro de diferentes minas brasileiras, através da caracterização das pelotas obtidas quanto à resistência mecânica e análise microestrutural.

As amostras de concentrado, bem como os aglomerantes (*Peridur* e bentonita) utilizados nos ensaios foram obtidos junto às mineradoras, identificadas por Mina A, Mina B, Mina C e Mina D. As amostras de concentrado foram caracterizadas quanto a umidade (por secagem à temperatura de 105°C até peso constante), densidade real (pelo método de picnômetro), dosagem dos óxidos, análise mineralógica e análise granulométrica.

A análise mineralógica das amostras de concentrado de minério de ferro foi efetuada através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios-X, marca Philips, modelo MPD 1880. A identificação das fases cristalinas foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD – International Centre for Diffraction Data (2003). Foi efetuada, ainda, caracterização expedita através de microscopia óptica de polarização nas quatro amostras de minério de ferro. Os estudos tiveram por objetivo determinar qualitativamente as composições mineralógicas das quatro amostras, bem como as características morfológicas e eventuais associações.

As amostras de concentrado foram classificadas quanto à composição química, por fluorescência raios-X e via úmida tradicional, compreendendo a determinação dos teores de (Fe₂O₃), (SiO₂), (Al₂O₃), (CaO), (MgO), (P₂O₅) e (MnO) e perda ao fogo.

Foram realizadas análises granulométricas na totalidade das amostras de concentrado por peneiramento exaustivo a úmido nas malhas da série Tyler 100 (0,149 mm), 200 (0,074 mm), 270 (0,053 mm), 400 (0,037 mm).

Os ensaios de pelletização foram realizados com cada concentrado na seguinte composição: concentrado puro, concentrado+bentonita, concentrado+*Peridur*. A dosagem utilizada de cada aglomerante foi a padrão para cada minério, conforme os trabalhos de otimização desenvolvidos pelas pelletizadoras, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Adição dos aditivos e dos aglomerantes

Aglomerante / Aditivo	Adição (%)	
	Mina A	Minas B, C e D
Bentonita	0,40	0,49
<i>Peridur</i>	0,035	0,040
NaOH (solução 50%)	0,02	0,02

Os ensaios de pelletização foram realizados em disco de pelletização de 1,2 m de diâmetro, rodando a 20 rpm e com inclinação de 46°. As pelotas obtidas foram peneiradas na faixa de 11 a 12,5 mm e caracterizadas quanto a resistência ao número de quedas, à compressão a verde e seca e ao choque térmico nas temperaturas de 300°C, 500°C, 700°C e 900°C por 10 minutos. O tratamento térmico das pelotas foi realizado em forno tipo mufla. As pelotas “queimadas” foram avaliadas quanto a resistência à compressão e por microscopia eletrônica de varredura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Das amostras de concentrado de minério de ferro têm-se que:

- 1) são constituídas essencialmente por hematita, goethita e magnetita, sendo que a hematita ocorre na forma compacta (ou lamelar), porosa com ou sem preenchimento de seus poros por goethita ou ainda como hematita martítica. A amostra Mina A apresenta predominância da hematita compacta, porosa e martítica. Nas amostras Mina A, Mina B e Mina C ocorrem tanto hematita compacta, porosa e martítica como também goethita livre, intragranular e intergranular;
- 2) o concentrado Mina B é o mais grosseiro com cerca de 31% de material retido na malha 37 μm , contra 23% do concentrado Mina B e 19% dos concentrados Mina A e Mina C;
- 3) os teores de Fe_2O_3 contidos em cada concentrado são próximos, sendo que o concentrado Mina B é o que apresenta o maior valor (97,7%). O concentrado que apresenta o maior teor de SiO_2 é o Mina A, com um valor de 0,62%, seguido do concentrado Mina B (0,37%). Em relação aos teores de Al_2O_3 , os valores variam de 0,4 a 0,6%. Quanto aos teores de P_2O_5 , MnO , MgO e CaO os valores são muito baixos (<0,1%), exceto em relação ao CaO no caso do concentrado Mina C que foi de 0,25%, e do MnO , no caso do concentrado Mina B (0,31%).
- 4) em relação à umidade, as amostras de concentrado estavam com um valor inferior ao recomendado para a realização dos ensaios de pelotização, que é da ordem de 10 a 11%, exceto o concentrado Mina A. Esta condição foi solucionada adicionando-se água para a correção da umidade, antes de misturar os aglomerantes.
- 5) os valores de densidade real obtidos para todos os concentrados foram muito próximos, variando de 4,3 a 4,6 g/cm^3 .

Em relação às pelotas confeccionadas com cada concentrado de minério de ferro, apresenta-se na Tabela 2 um resumo da atuação dos aglomerantes, *Peridur* e bentonita, em cada teste de qualidade realizado com as pelotas obtidas.

Tabela 2. Comparação de desempenho dos aglomerantes para os diferentes concentrados

Testes		Quedas repetidas		Resistência à compressão (kgf/pel)													
				Verde		Seca		300°C		500°C		700°C		900°C		1350°C	
Aglomerante	Bentonita(B)	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P
	<i>Peridur</i> (P)																
Concentrado	Mina A	4,3	4,2	1,5	1,2	4,4	3,7	3,5	2,5	2,5	0,8	2,5	0,9	3,0	2,6	143	174
	Mina B	4,7	5,6	0,7	1,1	4,4	2,9	2,8	2,3	4,3	0,6	3,7	0,8	4,1	2,4	120	197
	Mina C	6,1	4,4	0,8	1,4	2,7	2,0	2,2	1,9	2,2	0,9	2,9	0,8	3,1	2,2	435	470
	Mina D	3,4	2,7	0,8	0,7	3,9	3,3	2,7	3,2	2,0	0,9	3,6	1,0	3,9	1,4	185	190

De um modo geral, os dados contidos na Tabela 2 sugerem que a bentonita apresenta o melhor desempenho na pelotização dos diferentes concentrados de minério de ferro estudados, com especial destaque para o choque térmico. Isto se deve ao fato de que nestas temperaturas já ocorra o endurecimento dos componentes da bentonita.

O pior desempenho do *Peridur* nos ensaios choque térmico se deve, principalmente, ao fato de que a CMC, que assegura a estabilidade da pelota antes do tratamento térmico,

já tenha sido “queimada” e os materiais dispersos pelos sais, outros componentes do *Peridur*, ainda não estejam na temperatura de endurecimento. No entanto, consegue dar estabilidade à pelota até o final do tratamento térmico, no qual deixa registrado seu melhor resultado.

Na Figura 1 têm-se as fotomicrografias das pelotas obtidas com os diferentes concentrados puros (sem aglomerante), após o tratamento térmico. Observa-se que a menor quantidade de poros é apresentada pelas pelotas confeccionadas com o concentrado Mina B e que os concentrados Mina A e Mina D têm estruturas semelhantes entre si. As pelotas obtidas com o concentrado Mina C apresentam estrutura completamente diferente da obtida com os outros concentrados, cujas ligações entre as partículas são quase que na sua totalidade por pontes cerâmicas, constituídas por Si e Ca, ainda que não seja adicionado de bentonita. É, também, a pelota que apresenta o maior valor de resistência à compressão (398,0 kgf/pel). O menor valor é apresentado pelo concentrado Mina D (145,2 kgf/pel).

Na Tabela 4 estão apresentadas as fotomicrografias das pelotas obtidas com concentrados+ bentonita. Em alguns casos houve perda de resistência à compressão em comparação às pelotas obtidas com concentrados puros, como com o concentrado Mina A e Mina B. No caso destes concentrados, as pontes cerâmicas sugerem ser pontos de fraqueza.

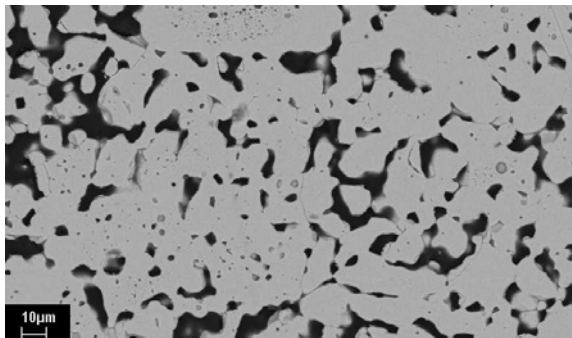
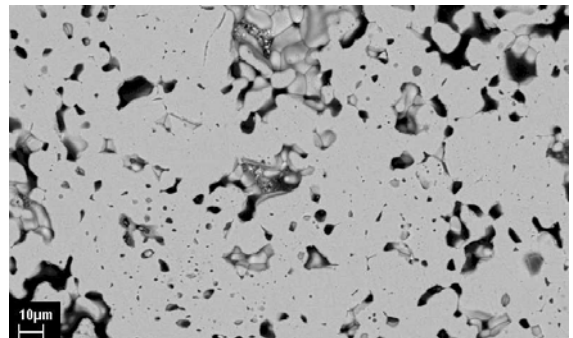
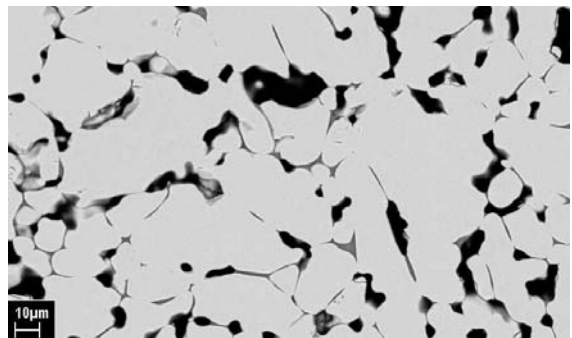
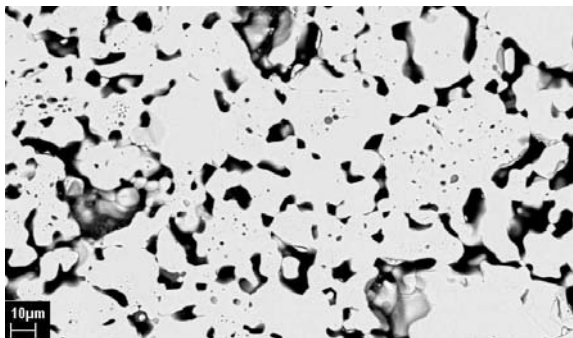
Mina A (100%)	192,6 kgf/pel	Mina B (100%)	191,8 kgf/pel
			
Mina C (100%)	398,0 kgf/pel	Mina D (100%)	145,2 kgf/pel
			

Figura 1. Concentrados puros – Fotomicrografias das pelotas após tratamento térmico

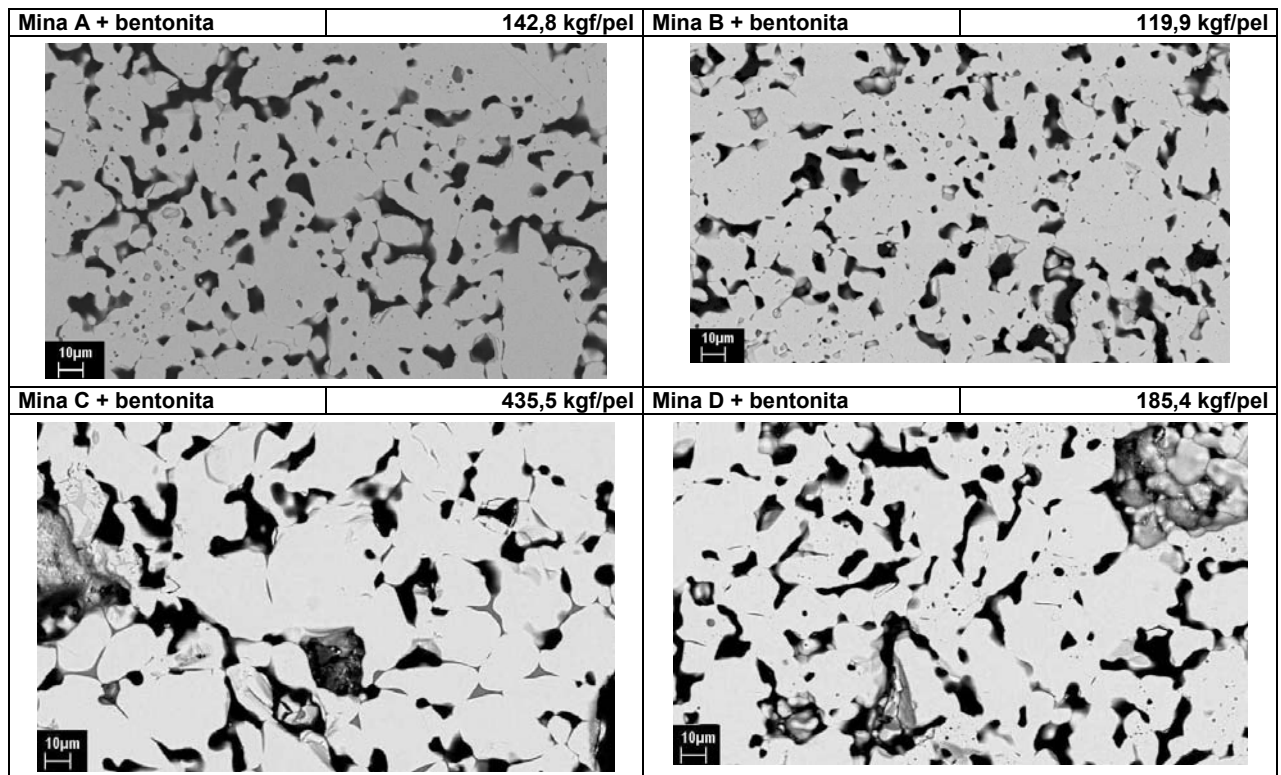


Figura 2. Concentrados + bentonita – Fotomicrografias das pelotas após tratamento térmico

As fotomicrografias das pelotas obtidas com concentrado+*Peridur* estão apresentadas na Figura 3. Como nos resultados obtidos com a bentonita, o concentrado Mina B é o que gera pelotas com menos poros e menores e o concentrado Mina A e Mina D têm estrutura semelhante entre si. Ao contrário da bentonita, o *Peridur* garante o ganho de resistência à compressão das pelotas obtidas com todos os concentrados de minério de ferro estudados. Embora este aglomerante não tenha sua ação originando pontes cerâmicas, destaca-se o número destas pontes, também quando do uso do *Peridur*, no caso do concentrado Mina C. Fato este ocorrido com o concentrado puro e com bentonita.

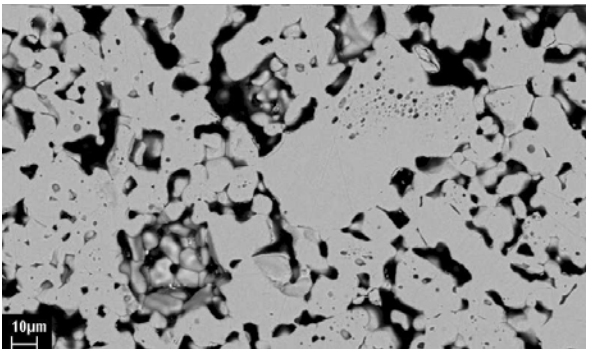
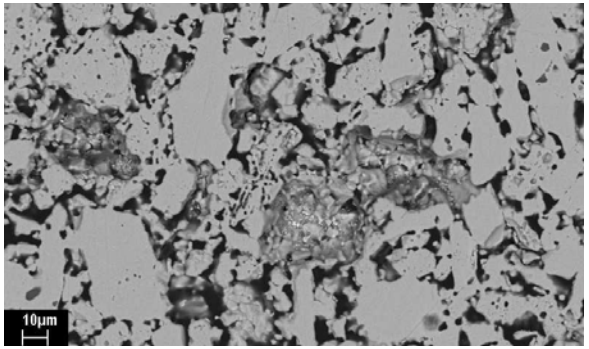
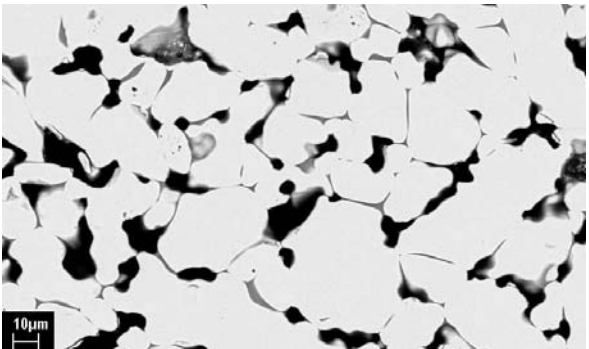
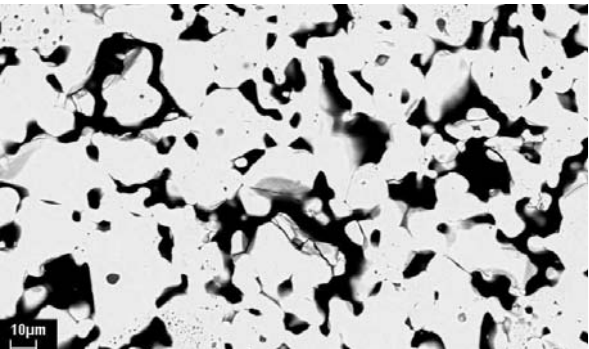
Mina A + <i>Peridur</i>	174,5 kgf/pel	Mina B + <i>Peridur</i>	196,7 kgf/pel
			
Mina C + <i>Peridur</i>	469,7 kgf/pel	Mina D + <i>Peridur</i>	190,3 kgf/pel
			

Figura 3. Concentrados + *Peridur* – Fotomicrografias das pelotas após tratamento térmico

5 CONCLUSÕES

A avaliação da influência dos aglomerantes, orgânico *Peridur* e o tradicional bentonita, na microestrutura de pelotas confeccionadas com concentrados de minério de ferro, após tratamento térmico, objeto do presente estudo, contemplou avaliação de 4 concentrados, originários do processo, provenientes de diferentes minas brasileiras: Mina A, Mina B, Mina C e Mina D. O trabalho visou identificar qual aglomerante é mais efetivo para a obtenção de um produto final com melhor característica de resistência à compressão. Embora este não seja o único requisito a ser atendido pelo produto final (pelota “queimada”), foi o selecionado neste trabalho para tal definição, uma vez que o tratamento térmico é realizado, entre outros motivos, para conferir às pelotas maior resistência ao transporte, em sua grande maioria transoceânico, e servir como matéria prima nos altos fornos e reatores de redução direta.

Diante dos fatos, aqui constatados, pode-se dizer que o *Peridur*, em comparação à bentonita, tem o **melhor desempenho** para a obtenção da **commodity final** que é a pelota “queimada” para todos os concentrados de minério de ferro estudados. Estudos com aglomerantes nesta linha sugerem ser esta a única forma de atingir pelotas com um conteúdo de Fe ainda maior, conforme anseia a indústria.

REFERÊNCIAS

- 1 CHEREM, C. E. Alta tecnologia. **Metalurgia e Materiais**, São Paulo, n. 537, p. 536, 2003.
- 2 SILVA, C. E. A. Estudo dos fatores que influenciam a formação e a qualidade de pelotas de minério de ferro hematíticos. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS, 33., Ouro Preto, 2003. **Anais**. Ouro Preto: ABM, 2003. p. 554-563. 1 CD-ROM.(2)
- 3 LIMA, J. R. B. **Estudo da carboxi-metil-celulose como aglomerante para pelotização**. 1991. 145 p. Tese (Doutoramento) - Escola Politécnica, Universidade São Paulo, São Paulo, 1991.
- 4 PORTO, J. P. P; ARANHA, I. B. Caracterização cristaloquímica preliminar de bentonitas brasileiras. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Rio de Janeiro, 2002. **[Anais]**. Rio de Janeiro: CETEM, 2002. (Série Anais X). Disponível em http://www.cetem.gov.br/html/serie_anais_X_jic_2002.html>. Acesso em; dez. 2003.
- 5 RIPKE, S. J. **Advances in iron ore pelletization by understanding bonding and strengthening mechanisms**. 2002. 186. Tese (Doutorado) - Michigan Technological University, Michigan, 2002.
- 6 CASSOLA, M. S.; CHAVES, A. P Effect of the addition of organic binders on the behavior of iron ore pellets. comportamento de pelotas de minério de ferro. **KONA: Powder and Particle**, Osaka, n. 16, p. 136-142, 1998.
- 7 AKZO NOBEL CHEMICALS. Apresenta detalhes do produto *Peridur*. Disponível em: http://www.akzonobel.com/chemicals/products/product_selector_details.asp?ProductID=937. Acesso em 27/03/2004.

BIBLIOGRAFIA

- 1 BALANÇO MINERAL BRASILEIRO. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral. 2001. Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/dnpm legis/Balanço01/pdf/ferro.pdf> >. Acesso em: nov. 2003.
- 2 INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INTELECTUAL. INPI-DEINPII/SP 003231. **Processo de preparação de pelotas e agente coloidisante**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2000.
- 3 LIRA FILHO, D. P. **Perfil analítico da bentonita**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1973. (Boletim, n. 4).
- 4 MORAES, S. L. **Comparação de desempenho de aglomerante orgânico em relação à bentonita na operação de pelotização de concentrados de minério de ferro brasileiros de diversas procedências**. 2004. 80 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade São Paulo, São Paulo, 2004.
- 5 MOURÃO, J. M. SOUZA, R. P. Pelotas CVRD para redução direta. **CVRD Revista**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 26, p. 11-40, dez. 1986.
- 6 PIETSCH, W. **Agglomeration process: phenomena, technologies, equipment**. Weinheim: Wiley-VCH, 2002. 622 p.