

INFLUÊNCIA DO COATING MIXER COMO PARTE INTEGRANTE DA ROTA HPS NO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO*

Adailton Henrique de Sousa¹
Lindaura de Souza Cândido d'Avila²
Ramon Serafim Reis³
Robert Nogueira de Azevedo⁴
Cláudio Batista Vieira⁵

Resumo

Este estudo teve o intuito de avaliar os principais parâmetros e indicadores de processo quando se utiliza o processo *coating mixer* na sinterização de minério de ferro via rota HPS (*Hybrid Pelletized Sinter*). Foram realizados testes de sinterabilidade em escala piloto com e sem o uso deste processo. Os resultados mostraram que o processo *coating mixer* proporcionou ganhos de qualidade química e mineralógica do sinter produzido, além de melhorar a degradação sob redução. Entretanto, observou-se que o processo não propiciou os resultados esperados no que se refere à produtividade, resistência do sinter e redutibilidade do sinter. Estes parâmetros podem ter sido afetados pela granulometria dos combustíveis utilizados nos testes, considerada alta pela literatura.

Palavras-chaves: Processo *Coating Mixer*; HPS (*Hybrid Pelletized Sinter*); Cobertura de Combustível; Sinterização de Minério de Ferro.

INFLUENCE OF THE COATING MIXER AS PART OF THE HPS ROUTE ON THE IRON ORE SINTERING PROCESS

Abstract

This study was intended to evaluate the main process parameters and indicators when using the coating mixer process as part of the HPS (*Hybrid Pelletized Sinter*) route for iron ore sintering. Sinterability tests were performed in pilot scale with and without this process. The results showed that the coating mixer process provided chemical and mineralogical gains for the sinter produced, in addition to the better reduction degradation index obtained. However, it was noticed that the process didn't provide good results in terms of productivity, sinter strength and sinter reducibility. These parameters might have been affected by the particles size of the solid fuels used on the tests, which is considered high based on scientific literature.

Keywords: Coating Mixer Process; HPS (*Hybrid Pelletized Sinter*); Coke Breeze; Iron Ore Sintering.

¹ Técnico Metalurgista, Graduando em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Ouro Preto, Estagiário Universitário na Área de Sinterizações da Gerdau Usina Ouro Branco, Ouro Branco, MG, Brasil.

² Engenheira Metalurgista, Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM, UFMG, Especialista da Área de Sinterizações da Gerdau Usina Ouro Branco, Ouro Branco, MG, Brasil.

³ Engenheiro Metalurgista, Mestrando em Engenharia de Materiais pela REDMAT/UFOP, Técnico na Área de Sinterizações da Gerdau Usina Ouro Branco, Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Matemático, Especialista em Estatística e Siderurgia, Especialista na Área de Sinterizações da Gerdau Usina Ouro Branco, Ouro Branco, MG, Brasil.

⁵ Engenheiro Metalurgista, M.Sc, Dr., Professor Titular da Universidade Federal de Ouro Preto, Chefe do Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais da Escola de Minas, Ouro Preto, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Com uma visão inovadora, algumas siderúrgicas brasileiras implantaram em seus processos de sinterização o sistema HPS (*Hybrid Pelletized Sinter*), uma tecnologia japonesa que possibilita o aumento do uso de *pellet feed* na mistura a sinterizar. Desta forma, estas empresas poderiam utilizar elevados percentuais de *pellet feed* na produção de sínter, com benefício de qualidade e com custo de produção competitivo, além do ganho em sustentabilidade.

Segundo Pereira [1], a rota HPS permite o uso de 40 a 50% de *pellet feed* na mistura de minérios a ser sinterizada. A utilização de tal quantidade de *pellet feed* não seria possível sem o processo HPS, uma vez que este material impacta diretamente a permeabilidade do leito de sinterização, prejudicando a produtividade da planta. De acordo com o Text Report Co [2], o processo HPS também propicia a produção de um sínter com excelente qualidade microestrutural, resultando em bons valores de Índice de Redutibilidade (IR) e de Índice de Degradação sob Redução (IDR), o que melhora também as condições operacionais para a produção de gusa no alto-forno.

A rota HPS contempla, além de discos pelletizadores, um sistema de segregação próprio no leito de sinterização, denominado SSW (*Segregation Slit Wire*) e um equipamento denominado *coating mixer*, ligado em série, após os discos pelletizadores. O *coating mixer* é responsável pela adição de uma fina camada de combustível (antracito ou coque moído) na superfície das micropelotas.

Um estudo realizado por Oyama *et al* [3] mostrou que este revestimento aumenta a combustibilidade da mistura a sinterizar e, como consequência, aumenta a produtividade da máquina de sínter, além de melhorar a qualidade do sínter produto. Neste estudo observou-se que a cobertura de combustível aumentou a permeabilidade no leito de sinterização e a resistência das *quasi-partículas*. Além disso, obteve-se um sínter produto com muitos microporos e com bons índices de redutibilidade e degradação sob redução. Niwa *et al* [4] afirma que um dos requerimentos para se obter uma operação estável do sistema HPS é a aplicação com sucesso de uma cobertura de combustível nas micropelotas, proporcionando uma combustão mais eficiente.

Devido a questões operacionais, as siderúrgicas brasileiras que adotaram o sistema HPS optaram, após algum tempo de operação, por realizar a adição de combustível no misturador primário, ou seja, antes da passagem da mistura pelos discos pelletizadores. Desta forma, o combustível passou a ser parte integrante da mistura a micropelotizar, não mais constituindo um revestimento nas micropelotas. Com a mudança, o *coating mixer* permaneceu na rota HPS, porém apenas com as funções de aglomerador e transportador.

O presente trabalho teve como objetivo analisar o processo *coating mixer* em planta piloto para se determinar a sua influência no processo de sinterização em termos de parâmetros operacionais e de qualidade química, física, metalúrgica e mineralógica do sínter produzido, utilizando-se nos testes uma mistura de minérios (blendado) que é utilizada atualmente em uma planta industrial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se uma mistura de minérios (blendado), esta constituída de minério de ferro, dolomita, resíduo de pó de coletor, resíduo de precal e finos de sínter retorno. Realizou-se testes em duplicata de sinterabilidade em escala piloto, sendo

o primeiro teste reproduzindo-se a rota HPS sem uso do processo *coating mixer* e o segundo reproduzindo-se a rota HPS com uso do processo *coating mixer*, conforme apresentado nos fluxogramas de testes na Figura 1.

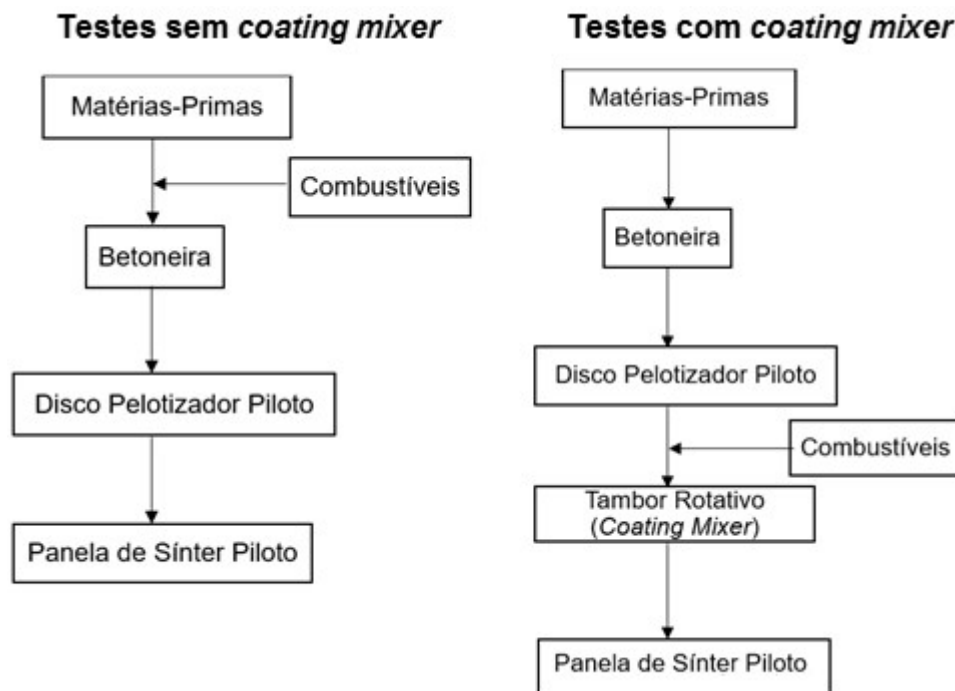


Figura 1. Fluxogramas das rotas utilizadas para a produção de sinter em escala piloto.

2.1 Caracterização das Matérias-Primas

As amostras de todas as matérias-primas utilizadas nos testes foram coletadas e preparadas de acordo com os procedimentos da norma ISO 3082. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados das análises químicas e granulométricas de todas as matérias-primas utilizadas nos testes de sinterabilidade.

Tabela 1. Análises químicas e granulométricas das matérias-primas

Matérias-primas	Análises Químicas (% em massa)											
	Fe ₂ O ₃	FeT	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	MnT	P	PPC	CF	CZ
Blendado	-	60,56	1,82	5,83	1,39	0,60	-	0,74	0,054	2,51	-	-
Calcário	-	0,21	54,71	1,95	0,39	0,34	-	0,02	0,036	42,30	-	-
Dolomita	-	3,13	28,70	4,83	0,57	18,70	-	0,37	-	42,19	-	-
Cal calcítica	-	2,15	88,34	1,81	0,19	0,50	-	0,02	0,061	5,61	-	-
Coque moído	17,96	-	5,32	52,90	26,37	2,15	0,34	-	0,690	-	83,07	15,54
Antracito	15,54	-	2,44	50,97	24,48	1,52	0,37	-	0,230	-	87,88	4,35
Matérias-primas	Análises Granulométricas (% em massa)											
	9,51	6,35	4,76	2,83	2,00	1,00	0,500	0,250	0,149	0,063	0,044	<0,044
Blendado	4,97	5,15	5,77	12,79	3,64	14,39	8,17	10,30	6,84	8,44	2,40	17,14
Calcário	0,00	1,28	6,83	17,74	5,95	18,14	6,48	3,38	7,70	13,54	13,77	5,19
Dolomita	0,00	0,18	0,62	6,96	-	24,53	8,74	6,42	6,51	2,41	-	43,62
Cal calcítica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	1,09	2,71	3,53	13,16	72,04	-	7,33
Coque moído	0,00	0,54	0,81	6,20	3,37	26,01	21,97	15,09	11,05	7,01	-	6,33
Antracito	3,13	1,49	3,43	3,43	8,05	20,89	12,52	5,37	7,45	4,47	-	29,81

2.2 Testes de Sinterabilidade

Para o primeiro tipo de teste, os combustíveis (coque moído e antracito) foram adicionados na betoneira juntamente com todos os outros constituintes da mistura a sinterizar, de forma que, ao passar pelo disco pelletizador piloto, a mistura já continha a totalidade dos combustíveis. Para o segundo caso, os combustíveis não foram adicionados na betoneira, mas sim em um tambor rotativo, que foi o equipamento utilizado como *coating mixer*, e ao qual a mistura foi submetida após passar pelo disco pelletizador.

A mistura obtida em cada um dos casos foi então sinterizada em uma panela de sínter piloto. O bolo de sínter foi desagregado e submetido à classificação para que se pudesse compor as amostras para as análises e cálculo dos parâmetros de sinterização.

A Tabela 2 apresenta a qualidade objetivada para o sínter produto e demais parâmetros de processo para os testes em escala piloto de sinterização.

Tabela 2. Qualidade química objetivada para o sínter produto e principais parâmetros de processo

Parâmetro	Referência
Teor de MgO no sínter	1,40%
Basicidade do sínter	1,65
Teores de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Mn e P	Residuais das matérias-primas
Tempo de misturamento na betoneira	4 minutos (1 minuto a seco e 3 minutos a úmido)
Tempo no disco pelletizador	3 minutos
Inclinação do disco pelletizador	50°
Velocidade de rotação do disco pelletizador	27 rpm
Tempo no <i>coating mixer</i> (tambor rotativo)	3 minutos
Umidade final da mistura a sinterizar	8,2%
Depressão de ignição	900 mmH ₂ O
Depressão de sinterização	1.200 mmH ₂ O
Depressão de resfriamento	700 mmH ₂ O
Temperatura final de resfriamento	90 °C
Tempo de ignição	1 minuto
Massa de falsa grelha	4,50 kg

A Tabela 3 apresenta a quantidade em porcentagem de cada material utilizado para compor a mistura total a sinterizar, determinadas levando-se em consideração a qualidade química de cada matéria-prima e a qualidade química objetivada para o sínter produto.

Tabela 3. Composição da mistura total

Material	Quantidade (%)
Blendado	61,97
Calcário	2,77
Dolomita	3,18
Cal calcítica	3,58
Coque moído	1,44
Antracito	2,07
Sínter retorno	25,00

Durante e após os testes em escala piloto, determinou-se os principais parâmetros de sinterização, como o consumo específico de matérias-primas, produtividade, velocidade de sinterização, temperatura dos gases de exaustão, e rendimento da mistura total. Além disso, foram realizadas análises químicas, físicas (granulometria e teste de tamboramento – ISO 3271), metalúrgicas (IR – ISO 7215 e IDR – ISO 4696) e mineralógicas dos sínteres produzidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir dos testes realizados, além de algumas interpretações dos mesmos, são apresentados a seguir. Os principais parâmetros de sinterização observados são analisados no item 3.1 e o item 3.2 apresenta os resultados de caracterização dos sínteres produzidos.

3.1 Parâmetros de Sinterização

A Figura 2 apresenta os resultados dos consumos específicos de fundentes e de combustíveis (coque moído e antracito) para os testes de sinterabilidade com e sem o uso do processo *coating mixer*. Nota-se que o uso da cobertura de combustível proporcionou um menor consumo específico de todos estes insumos.

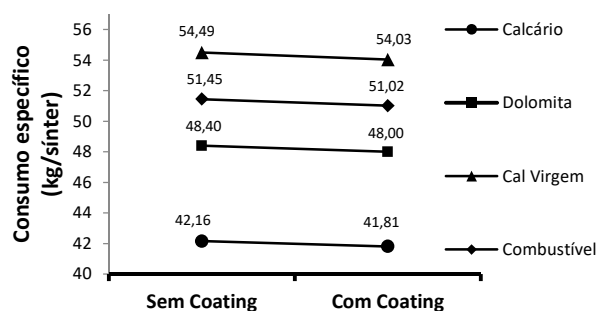


Figura 2. Consumos específicos de matérias-primas nos testes de sinterabilidade.

Na Figura 3 estão apresentados os principais parâmetros de desempenho obtidos para os testes de sinterabilidade em escala piloto.

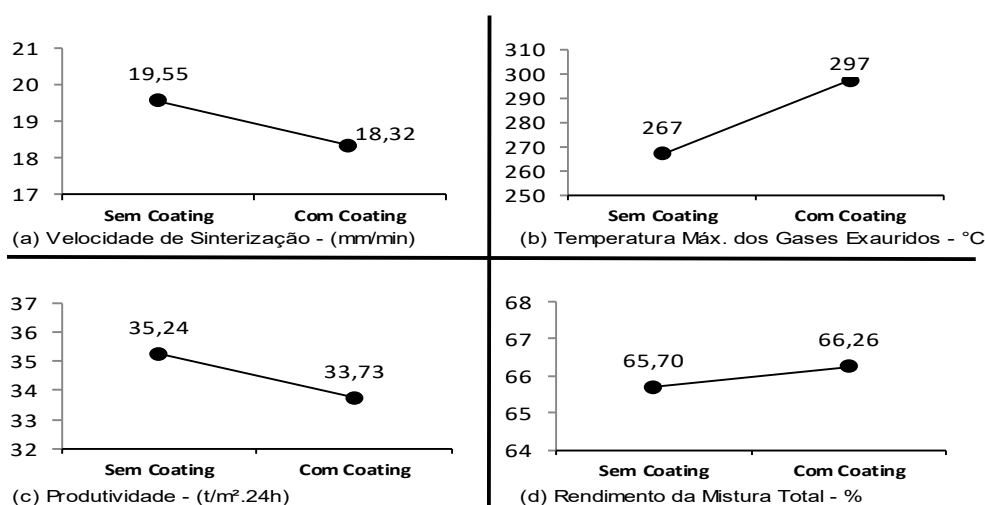


Figura 3. Principais parâmetros de desempenho dos testes de sinterabilidade.

Foi observado na Figura 3 (d) que a presença do processo *coating mixer* proporcionou aumento do rendimento da mistura total, resultando em menor consumo específico de todas as matérias-primas, o que foi apresentado na Figura 3. Nota-se que, apesar de aumentar o rendimento da mistura total, a presença do *coating mixer* culminou em aumento do tempo de sinterização, reduzindo a produtividade, como mostra a Figura 3 (c).

Niwa *et al* [4] estabelece que a operação do *coating mixer* deve ser realizada com granulometria dos combustíveis abaixo de 1,0mm. Entretanto, observa-se pela Tabela 1 que o coque apresentou fração maior que 1,0mm de 36,96%, e que para o antracito esta fração foi ainda maior, 40,42%. A alta granulometria dos combustíveis pode ter influenciado negativamente o processo de microaglomeração e formação das *quasi-partículas*, tornando-se núcleo e não partículas aderentes. Gondim e Campos Jr [5] afirmam que a velocidade da frente de combustão depende da velocidade com que o combustível reage com o ar, o que depende das características físico-químicas das matérias-primas. Desta forma, é provável que a alta granulometria dos combustíveis também afetou sua taxa de reação com o oxigênio do ar succionado. Tudo isto pode ter contribuído para reduzir a velocidade de sinterização com a presença do processo *coating mixer*, conforme mostra a Figura 3 (a). Como consequência, houve redução da produtividade.

Na Figura 4 apresenta-se as leituras de temperatura dos gases de exaustão e de permeabilidade do leito durante os testes de sinterização em escala piloto.

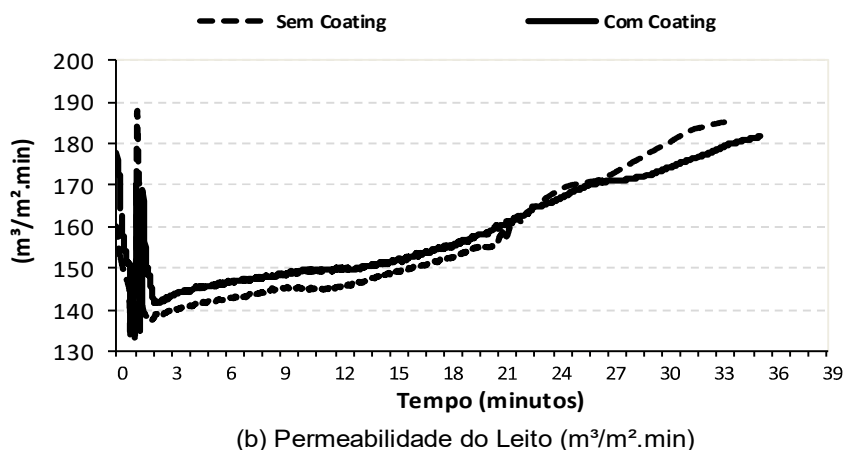
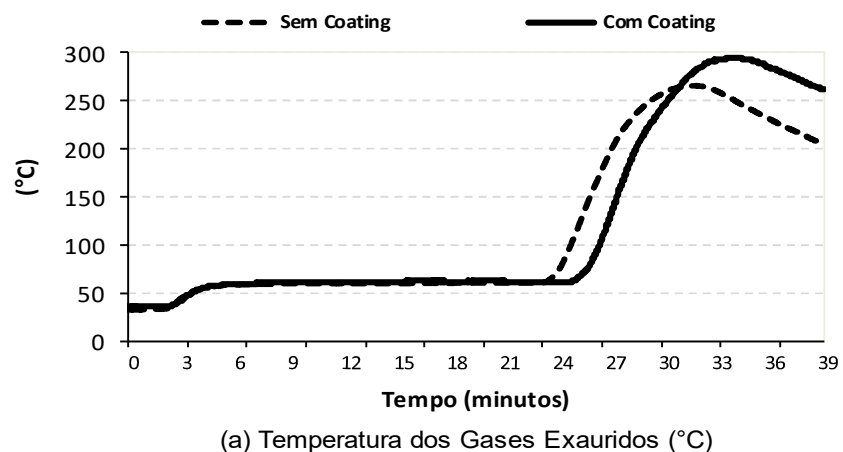


Figura 4. Curvas de permeabilidade do leito e temperatura dos gases de exaustão dos testes de sinterabilidade.

Conforme apresentado na Figura 4 (a) e na Figura 4 (b), obteve-se uma maior temperatura dos gases de exaustão ao se usar o processo *coating mixer*, o que confirma a afirmação de Oyama *et al* [3], de que o uso do equipamento proporciona uma melhora na combustibilidade da mistura a sinterizar. Isto ocorre provavelmente porque quando se adiciona o combustível no *coating mixer*, depois do disco pelletizador, as partículas de combustível revestem as micropelotas, estando desta forma mais expostas ao calor e ao oxigênio presente no ar succionado. Já quando se adiciona o combustível antes do disco pelletizador, além de aumentar a sua umidade, a maior parte das partículas de combustível ficam “presas” no interior das micropelotas, envoltas por uma camada úmida de minério e fundentes, de forma a atrasar a reação de combustão ou até mesmo fazendo com que esta não ocorra por completo.

Observando a Figura 4 (b) pode-se perceber que, em um primeiro momento, a permeabilidade do leito foi maior quando se usou o *coating mixer*. Pereira [1] afirma que a cobertura de combustível evita que as micropelotas grudem umas nas outras, o que explica a maior permeabilidade inicialmente obtida. Entretanto, quando os gases atingiram a temperatura aproximada de 100°C houve uma inversão e a sinterização com o *coating mixer* tornou-se menos permeável do que sem ele. Isto explica o “atraso” da curva de temperatura com o *coating mixer* em relação à outra curva.

A permeabilidade mais baixa pode ter ocorrido porque a melhora da combustibilidade aumentou a largura da zona fundida, dificultando a passagem dos gases pela mesma. Por outro lado, é possível que quando as partículas de combustível contidas no interior das micropelotas (quando não se utiliza o *coating mixer*) perdem matéria volátil, deixem “vazios” em suas respectivas posições, o que pode contribuir para aumentar a porosidade e conseqüentemente a permeabilidade do leito. Desta forma, outra razão pela qual a permeabilidade foi mais baixa ao se utilizar o *coating mixer* pode ter sido a ausência de poros deixados pelas partículas de combustível no interior das micropelotas, já que o combustível foi adicionado no exterior das mesmas.

Para os testes realizados, o fato de se ter obtido uma permeabilidade mais baixa com o uso do *coating mixer* e, conseqüentemente menor produtividade, vai contra a proposição de Oyama *et al* [3], de que a cobertura de combustível aumenta a produtividade da máquina de sinter.

3.2 Caracterização dos Sínteres Produzidos

Na Tabela 4 estão listados os resultados das análises químicas realizadas. Conforme esperado, os sínteres produzidos se mostraram muito semelhantes em termos de qualidade química.

Os teores de FeO obtidos nos testes foram dentro da faixa esperada. Segundo Lopes [6], o teor de FeO é parâmetro de extrema importância para as sinterizações pois valores elevados deste constituinte tendem a diminuir a redutibilidade do sinter, afetando a zona de amolecimento e fusão dos altos-fornos, comprometendo sua estabilidade de processo. O FeO obtido com a presença do *coating mixer* foi menor (0.28 pontos percentuais), sendo esta a análise química a qual pudesse se esperar variação significativa.

Tabela 4. Análises químicas dos sínteres produzidos (% em massa)

Testes	FeT	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnT	Basicidade	FeO
Sem Coating	56,94	9,39	5,74	1,51	1,36	0,71	1,64	6,11
Com Coating	56,82	9,41	5,52	1,49	1,40	0,73	1,70	5,83

Na Figura 5 estão apresentados os resultados das análises granulométricas dos sínteres produzidos.

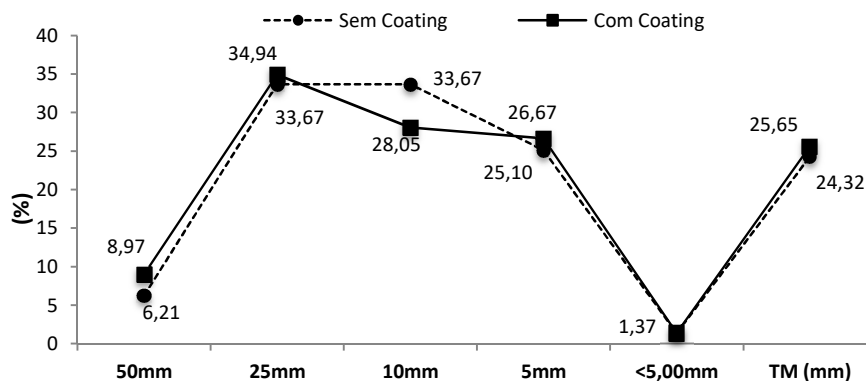


Figura 5. Distribuição granulométrica dos sínteres produzidos.

Observa-se que a presença do *coating mixer* aumentou a granulometria do sínter nas frações mais elevadas, proporcionando um maior tamanho médio do sínter. Houve, a diminuição da fração de 10mm a 25mm e aumento da fração de 5mm a 10mm. A quantidade de sínter retorno produzido (fração menor que 5mm) foi praticamente a mesma para ambos os casos. Oyama *et al* [3] ressalta em seu estudo a importância do tempo de permanência da mistura no *coating mixer*, o qual deve ser limitado inferiormente pela suficiente homogeneização do combustível na mistura a sinterizar e superiormente pela degradação das *quasi-partículas*. O maior tamanho médio do sínter obtido pode ter sido resultado de aglomeração adicional da mistura a sinterizar pelo *coating mixer*. Para se confirmar esta hipótese seria necessário realizar testes de granulometria da mistura a sinterizar após esta passar pelo equipamento. Outra explicação pode ser uma melhoria de resistência mecânica tendo como base os resultados de mineralogia do sínter que serão apresentados a seguir.

Deve-se referir à Tabela 5 para leitura das siglas utilizadas na Figura 6 e nas micrografias. A Figura 6 apresenta a quantificação volumétrica das fases minerais presentes em cada um dos dois tipos de sínter produzidos.

Tabela 5. Legenda das fases encontradas nos sínteres produzidos

HP	Hematita Primária	FC	Ferrito de Cálcio	PO	Poros
HS	Hematita Secundária	FS	Fase Silicatada	OT	Outros
MA	Magnetita	QZ	Quartzo		

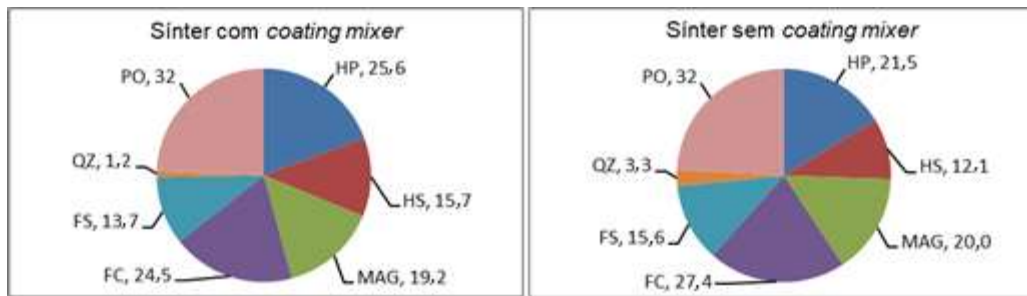


Figura 6. Quantificação das fases presentes no sinteres produzidos (%/volume).

As mineralogias de ambos os sinteres apresentaram-se semelhantes. No sinter produzido sem uso do processo *coating mixer* houve uma maior formação de ferritos de cálcio, resultado provavelmente do desvio de basicidade apresentado. De acordo com Silva [7], a formação de ferritos de cálcio melhora a redutibilidade do sinter.

As Figuras 7 e 8 são fotomicrografias de diferentes granulometrias dos sinteres produzidos sem e com o uso do processo *coating mixer*, respectivamente.

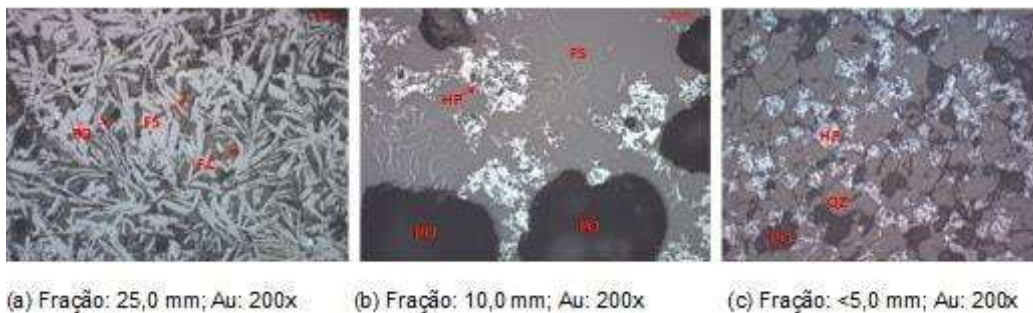


Figura 7. Mineralogia do sinter sem uso do processo *coating mixer*

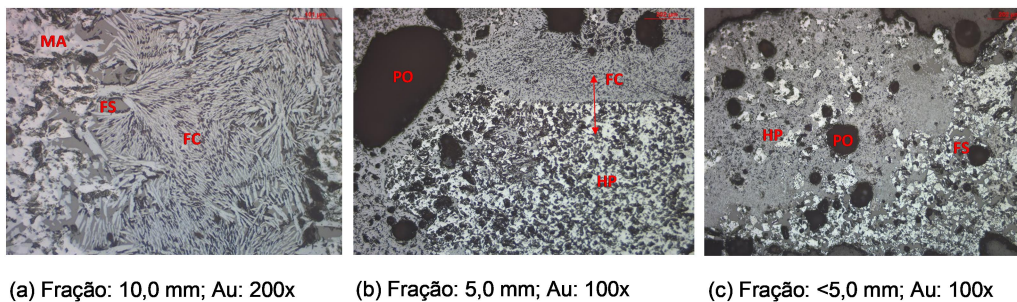


Figura 8. Mineralogia do sinter com uso do processo *coating mixer*

Na Figura 7 (a) pode-se observar ferritos de cálcio aciculares e fase silicatada. Na Figura 7 (b) observa-se que cristais de quartzo das frações intermediária e aderente reagiram por completo, incorporando as hematitas primárias de mesma faixa de tamanho, promovendo aglomeração. As bordas regulares dos poros também comprovam a reação. A Figura 7 (c) é um aglomerado natural de cristais de quartzo com hematita associada, chamado de quartzo policristalino.

Embora as amostras com e sem uso do processo *coating mixer* tenham se apresentado semelhantes em termos de composição química e de quantidades de cada fase presente, elas diferiram na microestrutura. Como pode ser visto nas Figuras 7 (a) e 8 (a), em ambos os tipos de sinteres houve a formação de ferritos de cálcio aciculares, porém estes se apresentaram muito mais finos no caso com uso

do processo *coating mixer*. Analisando-se a Figura 8 (b), observa-se que o sínter produzido a partir do processo *coating mixer* tem ligações mais firmes entre as fases, mesmo em faces retas e lisas, promovendo maior coesão e maior resistência física nas partículas. De acordo com a Figura 8 (c), parece ter ocorrido também melhora na formação dos microaglomerados.

A Figura 9 apresenta os resultados dos ensaios metalúrgicos - índice de redutibilidade (IR) e índice de degradação sob redução (IDR) - e do ensaio físico - teste de tamboramento (TT).

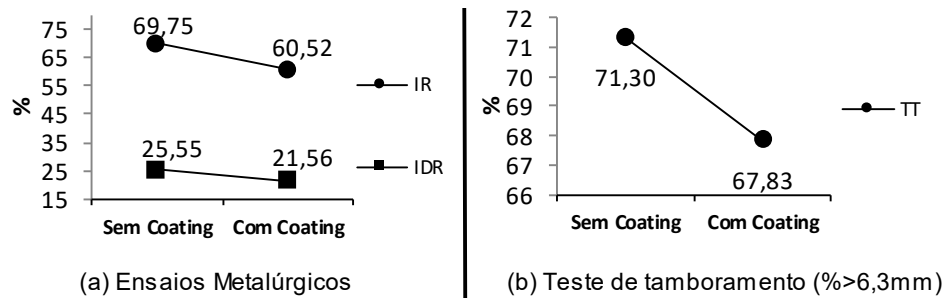


Figura 9. Ensaio físico e metalúrgico dos sínteres produzidos.

Observa-se na Figura 9 (a) que o sínter produzido a partir do processo *coating mixer* apresentou melhor resultado de degradação sob redução.

Baseando-se nos resultados da análise microestrutural, esperava-se que o sínter com uso do processo *coating mixer* tivesse melhores resultados de teste de tambor devido às ligações mais firmes entre as fases e melhor redutibilidade devido à formação de ferritos de cálcio mais finos. Entretanto, não foram obtidos tais resultados a partir dos testes realizados neste trabalho, conforme apresentado na Figura 9.

Os resultados de redutibilidade e teste de tamboramento do sínter obtidos são considerados inesperados, uma vez que tanto a mineralogia apresentada, quanto a literatura apontam para a sua melhoria ao se utilizar o processo *coating mixer*. Além disso, a produtividade da planta de sinterização obtida a partir do processo *coating mixer* não apresentou o resultado esperado, novamente confrontando a literatura. Esta foi a motivação para se realizar novos testes, adequando-se a granulometria dos combustíveis à especificada pela literatura. Estes testes já estão em fase de execução e poderão servir para a publicação de trabalho futuro, que poderá confirmar os resultados aqui apresentados ou até mesmo refutar alguns deles.

4. CONCLUSÃO

Os resultados dos testes mostraram que a presença da cobertura de combustível adicionada na superfície das micropelotas pelo *coating mixer* tem forte influência nos parâmetros de sinterização e na qualidade do sínter produzido. Para a mistura de minérios utilizada nos testes, formada de acordo com as necessidades atuais de uma planta industrial de sinterização, observou-se que o uso do processo *coating mixer* não apresentou todos os resultados previstos pela literatura.

Embora a cobertura de combustível tenha contribuído para o aumento do tamanho médio do sínter produto e um aumento do rendimento da mistura total, houve uma redução significativa da permeabilidade do leito de sinterização, afetando a produtividade. Estes resultados podem ter sido em função da alta

granulometria dos combustíveis utilizados, reforçando-se a importância do controle granulométrico deste insumo para a operação do *coating mixer*.

Em termos de qualidade química, observou-se que o sinter produzido utilizando o processo *coating mixer* apresentou uma redução no teor de FeO. Já a mineralogia apontou que o uso do processo *coating mixer* trouxe ganhos no que se refere à ligação entre as diferentes fases presentes no sinter, melhorando a coesão entre elas. Além disso houve ganhos na morfologia dos ferritos de cálcio, que se apresentaram bem mais finos.

Observou-se uma melhora no índice de degradação sob redução do sinter ao se utilizar o processo *coating mixer*. Por outro lado, houve uma queda nos resultados de redutibilidade e teste de tambor, contrapondo os resultados de mineralogia do sinter.

A presença do processo *coating mixer* na rota HPS exige que se tenha um controle rígido de granulometria do combustível. A variação de granulometria do combustível, bem como constante alteração na granulometria da mistura de minérios pode não trazer os resultados previstos em sua concepção.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Metalúrgica da Escola de Minas – UFOP e à Gerdau Usina Ouro Branco pelo apoio na realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Pereira, HC. Avaliação em escala piloto do comportamento dos produtos pellet feed, pellet screenings e micro pellet em substituição ao sinter feed em uma mistura de sinterização. Belo Horizonte. Dissertação [Mestrado em Tecnologia Mineral] – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2004.
- 2 Tex report co. Iron ore manual. Tokyo: Text Report Co; 2002-2003.
- 3 Oyama, N et al. Development of coating granulation process at commercial sintering plant for improving productivity e reducibility. ISIJ International. 2005;45(6):817-826.
- 4 Niwa, Y, Komatsu O, Noda H, Sakamoto N, Ogawa S. Development of hybrid pelletized sinter process and its commercial operation at Fukuyama No.5 sintering plant. Ironmaking Conference Proceedings. 1990;49:683-690.
- 5 Gondim, EP, Campos Jr., F.L.C. Manual de treinamento processo de sinterização. Ouro Branco: Gerdau; 2007.
- 6 Lopes, AA et al. Estudos da influência da basicidade e do teor de FeO do sinter na zona de amolecimento e fusão do alto forno. 46° Seminário de Redução/ 17° Minério de Ferro/ 4° Aglomeração. 2016;46(46):265-271.
- 7 Silva, VG, Castro, JA. Utilização de gás de coqueria na sinterização de minério de ferro. Rem: Revista Escola de Minas. 2012;65(3):357-362.