

# ANÁLISE DA REDUÇÃO DO VOLUME DE ESCÓRIA NA PLANTA DE SINTERIZAÇÃO DA ARCELORMITTAL PECÉM\*

Matheus Salmito Rodrigues Ponte<sup>1</sup>  
Francisco Leonardo Martins de Sousa<sup>2</sup>  
Lucas The de Araújo<sup>3</sup>  
Keneddy Veloso da Silva<sup>4</sup>  
Emerson de Souza Silva<sup>5</sup>  
Miguel Araújo Vasconcelos Filho<sup>6</sup>  
Alisson Dias da Silva<sup>7</sup>

## Resumo

No processo de sinterização as qualidades químicas e físicas estão conectadas entre si, ou seja, a qualidade química impacta na qualidade física. As qualidades físicas do sinter, como resistência a frio, tamanho médio e <5mm, são fortemente impactadas pela adequada formação da silicoferrita de cálcio e alumínio (SFCA) composto formado durante o processo de sinterização e que possui alta resistência quando comparado aos silicatos. Diante disso, o percentual e a proporção de CaO e SiO<sub>2</sub>, impactam na formação do SFCA e, conseqüentemente, nas qualidades físicas. Baseado nisso, existe a necessidade de se estabelecer o menor volume de escória no sinter, com o intuito de reduzir *slag rate* e *coke rate* no Alto forno, mantendo o impacto nas qualidades físicas controlado. Sendo assim, nesse trabalho foi realizado um estudo do impacto da redução do volume de escória nas qualidades físicas do sinter. No estudo foi possível reduzir e controlar os percentuais de CaO, SiO<sub>2</sub> e MgO com o objetivo do somatório dos 3 alcançar 14,5%. Foram realizados testes industriais e os resultados analisados.

**Palavras-chave:** Volume de escória; Qualidade do sinter, Sinter.

## ANALYSIS OF REDUCTION IN SLAG VOLUME IN SINTER PLANT OF ARCELORMITTAL PECÉM

### Abstract

In the sintering process, the chemical and physical properties are connected, that is, the chemical quality impacts on the physical property. The physical qualities of the sinter, such as cold strength, mean size and <5mm, are strongly impacted by the formation of calcium ferrites, a compound formed during the sintering process and which has high resistance when compared to silicates. Consequently, the percentage and proportion of CaO and SiO<sub>2</sub> impact on the formation of calcium ferrites and, consequently, on the physical properties. Based on this, there is a need to establish the lowest slag volume in the sinter, in order to reduce slag rate and coke rate in the blast furnace, keeping the impact on the physical qualities controlled. Therefore, in this work, a study was carried out on the impact of reducing the slag volume on the physical qualities of the sinter. In the study it was possible to reduce and control the percentages of CaO, SiO<sub>2</sub> and MgO with the objective of the sum of the 3 reaching 14.5%. Industrial tests were carried out and the results analyze.

**Keywords:** Slag Volume, Sinter Quality, Sinter.

<sup>1</sup> Engenheiro Químico, Analista de Processo de Sinterização e Pátio de Matérias-Primas, Gerência Técnica da Redução. ArcelorMittal Pecém, São Gonçalo do Amarante, CE, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, Analista de Processo de Sinterização e Pátio de Matérias-Primas, Gerência Técnica da Redução. ArcelorMittal Pecém, São Gonçalo do Amarante, CE, Brasil.

- <sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista, Especialista em Alto Forno, Gerência Técnica da Redução, ArcelorMittal Pecém, São Gonçalo do Amarante, CE, Brasil.*
- <sup>4</sup> *Engenheiro de Produção, Coordenador de Preservação de Pátio de Matérias-Primas e Sinterização, Gerência de Operações de Pátio de Matérias-Primas e Sinterização, ArcelorMittal Pecém, São Gonçalo do Amarante, CE, Brasil.*
- <sup>5</sup> *Engenheiro de Produção, Especialista de produção, Gerência de Operações de Pátio de Matérias-Primas e Sinterização, ArcelorMittal Pecém, São Gonçalo do Amarante, CE, Brasil.*
- <sup>6</sup> *Técnico em Metalurgia, Técnico de processos, Gerência de Operações de Pátio de Matérias-Primas e Sinterização, ArcelorMittal Pecém, São Gonçalo do Amarante, CE, Brasil.*
- <sup>7</sup> *Engenheiro de materiais, Gerente de Planta, Gerência de Operações de Pátio de Matérias-primas e sinterização, ArcelorMittal Pecém, São Gonçalo do Amarante, CE, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de sinterização é baseado no tratamento da mistura a sinterizar, composta por finos de retorno, fundentes, minérios e combustíveis. O processo inicia na parte superior da camada através da queima superficial proporcionada por um forno de ignição; sendo possível sinterizar toda a camada devido a um sistema de exaustão presente na máquina de sinterização [1].

Na unidade produtiva dos testes industriais existe uma sinterização para atender um Alto Forno na qual a carga metálica é superior a 80% de sínter, devido ao alto teor de sínter na carga o volume de escória baixo é ainda mais importante para o funcionamento da planta industrial.

A redução da resistência a frio é um fator limitante à diminuição do volume de escória [3];

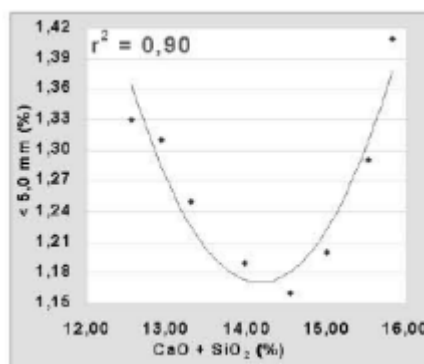


Figura 1 Impacto do teor de SiO<sub>2</sub> + CaO no <5mm [3]

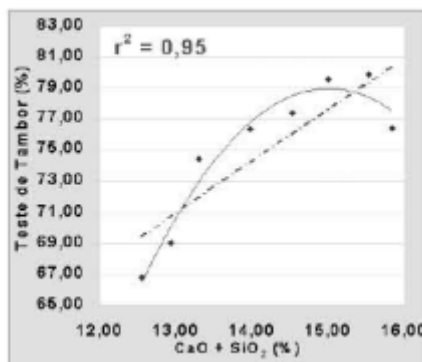


Figura 2 Impacto do teor de SiO<sub>2</sub> + CaO no teste de tambor [3]

É possível verificar pelas figuras 1 e 2 que os teores de SiO<sub>2</sub> + CaO impactam no <5mm e na resistência a frio do sínter, sendo o valor ótimo de SiO<sub>2</sub> + CaO de 15,00% para o teste de tambor [3]. Devido a esses fatores a redução do volume de escória foi realizado gradualmente visto que os testes foram industriais.

Com o aumento do percentual de MgO no sínter a formação de SFCA é reduzida, pois a rede cristalina da magnetita é estabilizada pela solução sólida de Mg<sup>2+</sup>. Dessa forma a oxidação da magnetita para hematita é limitada, reduzindo a formação de SFCA columnar&acicular [2]. Diante disso, a redução do MgO teoricamente melhora as qualidades físicas do sínter.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Caracterização do trabalho

O projeto consistiu na redução gradual do volume de escória do sinter na planta de produção da ArcelorMittal Pecém (tabela 1) com avaliação constante do impacto dessas ações na qualidade do Sinter. A planta em questão abastece um Alto Forno com carga metálica de mais de 80% de sinter, com objetivo de alcançar 91% de sinter na carga metálica. Por isso, a redução do volume de escória é necessária para manter o *slag rate* do Alto Forno. Para a realização dos testes foi reduzido o volume de escória gradualmente.

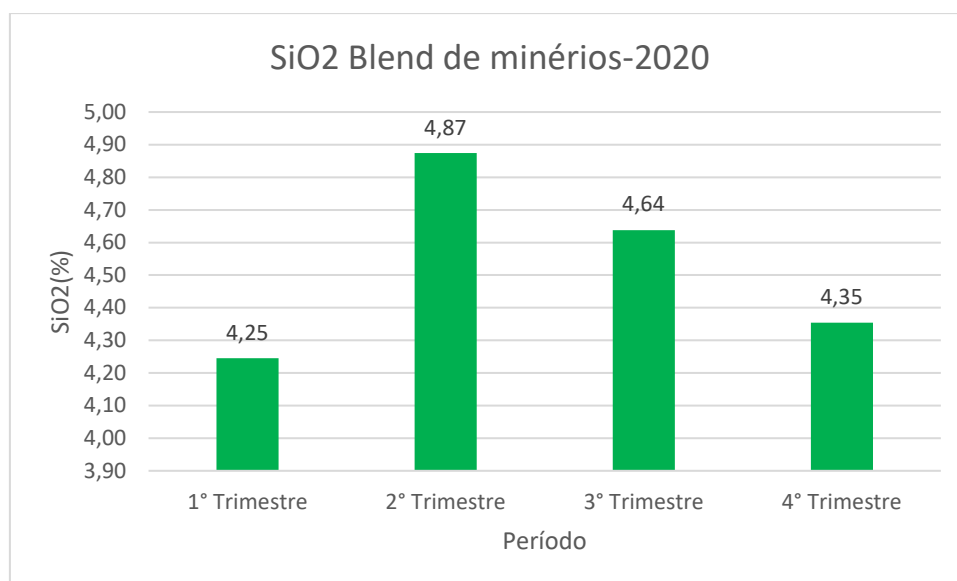
**Tabela 1.** Dados técnicos da máquina de sinter

<b>Planta de sinterização ArcelorMittal Pecém</b>
Início de operação: 13/mai/16
Fabricante: Posco E&C
Produtividade nominal: 32,3 t/m <sup>2</sup> .24h
Área da máquina: 400m <sup>2</sup> ( 4x100)
Nº caixas de vento: 25
Sistema de aglomeração: 2 <i>Drums</i>
Área do Forno de ignição: 16m <sup>2</sup>
Área do resfriador: 380m <sup>2</sup>

Para a redução dos teores de SiO<sub>2</sub>, CaO e MgO teve que se avaliar se as matérias-primas utilizadas permitiam tal redução. A redução de CaO foi possível e sem restrições visto que as principais fontes são a cal, *by-product* e calcário calcítico, para a redução foi alterado a dosagem de calcário calcítico visto que o controle do teor é realizado pela dosagem dessa matéria-prima.

O controle do teor de MgO no sinter é realizado via calcário dolomítico. Com o intuito de reduzir o MgO, foi objetivado retirar toda a dolomita do leito da sinterização, restando apenas o MgO residual que, em condições normais é 0,7%. O calcário dolomítico ainda pode entrar no leito da sinterização com o intuito de aumentar a fluidez da escória no Alto Forno.

O controle do teor SiO<sub>2</sub> na planta é realizado via adição de areia ou através da alteração da proporção entre os minérios. O blend de minérios da planta é composto por duas origens principais, no qual o de alta sílica tem origem em Minas Gerais e o de baixa sílica tem origem em Carajás. A areia pode ser retirada do leito e, como é possível visualizar na figura 3, o teor de sílica dos minérios permite a redução do teor de sílica no sinter.



**Figura 3.** Teor de sílica do blend de minérios

A sílica do blend de minérios possibilita teor de sílica de 5,15% no sinter produto final, para efeitos de comparação a proporção entre os minérios foi considerada constante. Para a basicidade binária de 1,68, os valores objetivados dos teores de SiO<sub>2</sub>, CaO e MgO adotados no início do projeto foram, respectivamente, 5,15%, 8,65% e 0,70%.

Para avaliação do impacto nas qualidades físicas do sinter foram considerados a geração de retorno interno, <5mm e *shatter* (JIS M 8711:2011- *Iron Ore Sinter – Determination of Shatter Strength*).

## 2.2 Resultados e discussões

Além dos teores de CaO, SiO<sub>2</sub> e MgO, o teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, o FeO e a basicidade também influenciam nas qualidades físicas. Visto que os testes foram industriais e essas propriedades variam com o processo, matérias-primas e necessidade do Alto Forno, vale a pena apresentar a tabela 2 com os valores desses parâmetros durante os testes industriais.

**Tabela 2 -** Qualidade química do sinter produto final

Período	FeO(%)	SiO2(%)	CaO(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	Basicidade
1ºTri 2018	7,59	5,32	9,04	1,37	1,16	1,70
2º Tri 2018	7,77	5,31	9,25	1,42	1,07	1,74
3º Tri 2018	7,52	5,17	9,41	1,52	0,91	1,82
4ºTri 2018	7,48	5,21	9,28	1,34	0,95	1,78
1ºTri 2021	8,37	5,26	8,84	1,38	0,70	1,68
2º Tri 2021	8,41	5,37	9,04	1,41	0,90	1,69
3º Tri 2021	7,56	5,25	8,92	1,48	0,85	1,70
4ºTri 2021	7,44	5,17	9,02	1,44	0,78	1,75
1ºTri 2022	6,94	5,08	8,87	1,34	0,70	1,75
2º Tri 2022	6,58	5,13	8,67	1,40	0,68	1,69
3º Tri 2022	7,63	5,06	8,51	1,51	0,76	1,68
4ºTri 2022	7,67	5,08	8,46	1,44	1,05	1,67

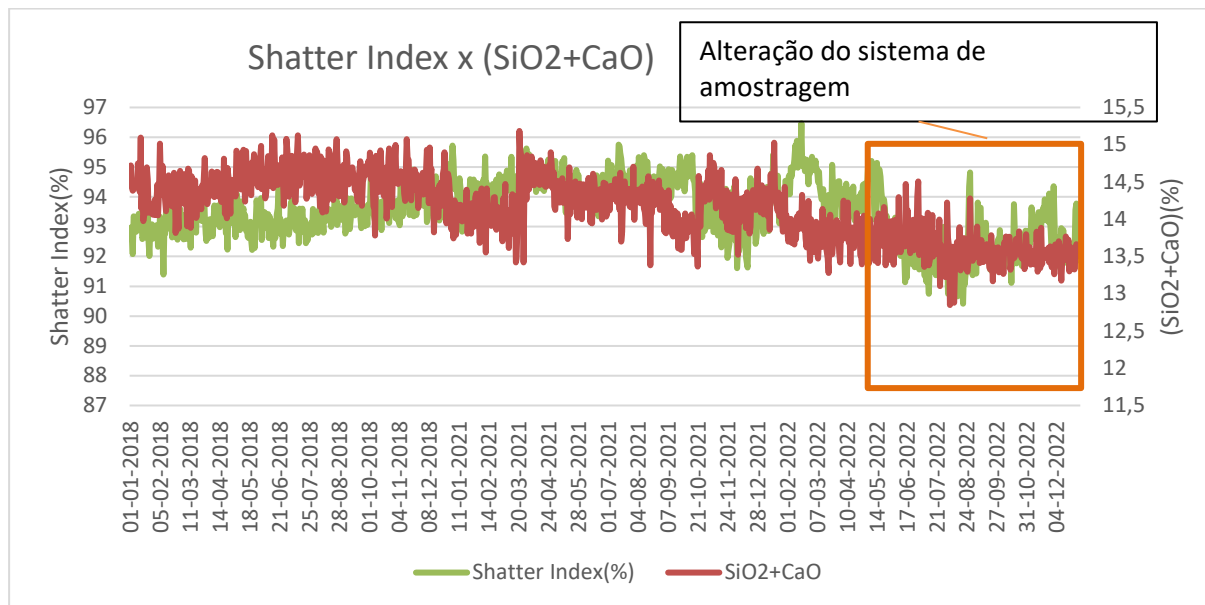
2.2.1 Impacto da redução do teor ( $\text{SiO}_2+\text{CaO}$ )

Figura 4. Impacto da redução de  $\text{CaO}+\text{SiO}_2$  no *Shatter index*

Na figura 4 existe o indicativo que a redução de  $\text{CaO}+\text{SiO}_2$  não afetou significativamente o *shatter*, sendo a alteração do sistema de amostragem o principal fator para a redução do patamar do *shatter* no final de 2022.

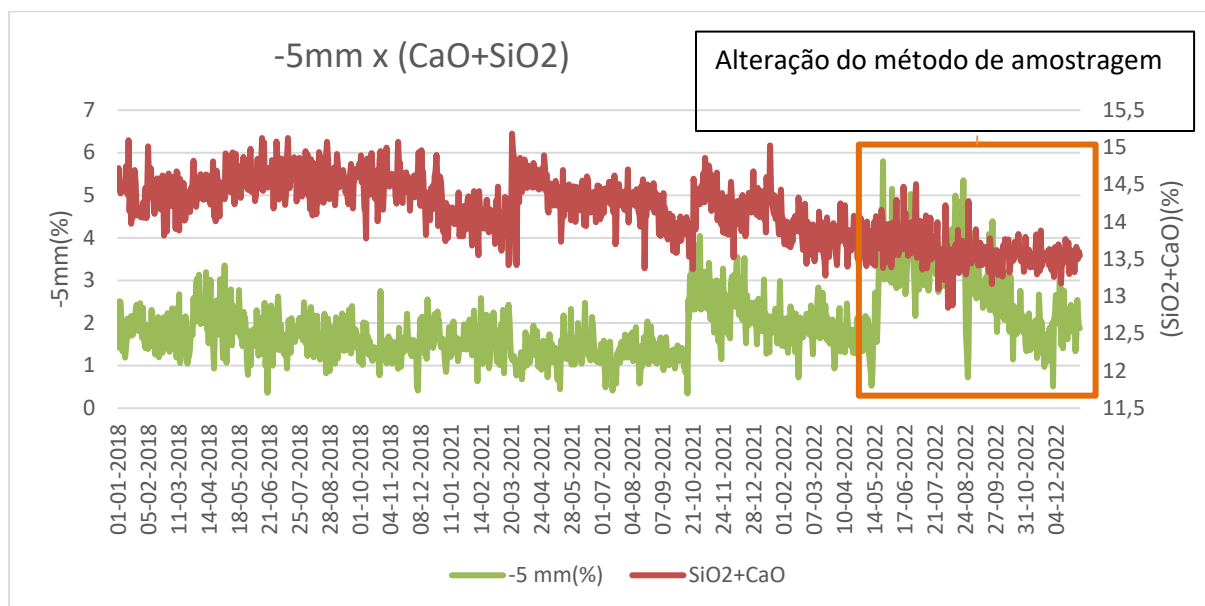
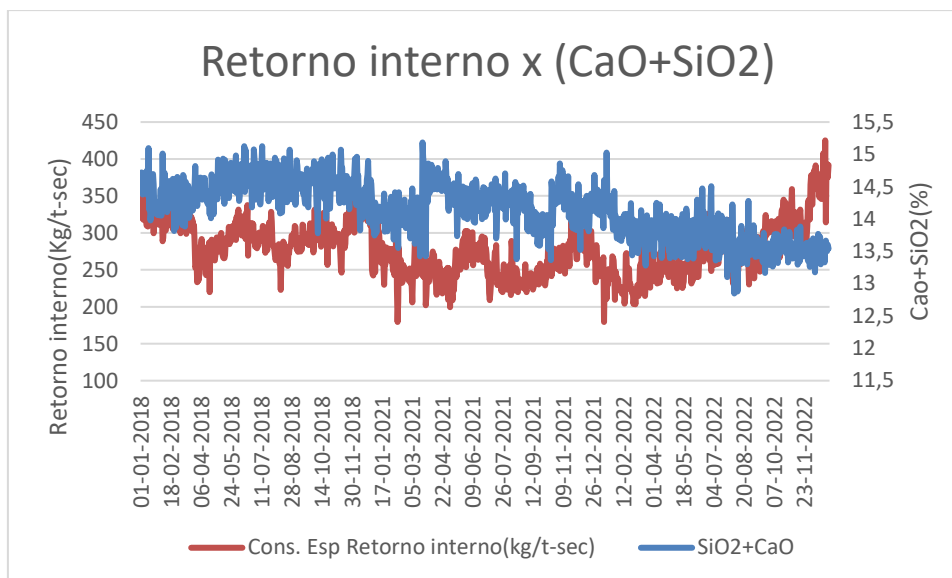


Figura 5. Impacto da redução de  $\text{CaO}+\text{SiO}_2$  no -5mm

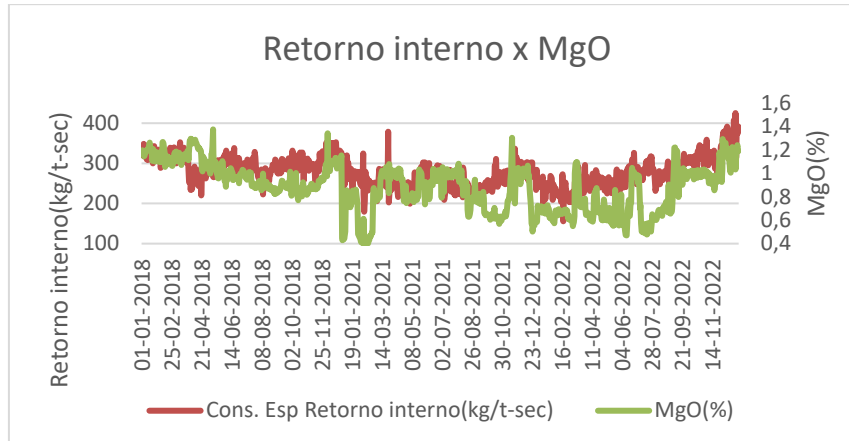
Na figura 5 existe o indicativo que a redução de  $\text{CaO}+\text{SiO}_2$  não afetou significativamente o -5mm, sendo a alteração do sistema de amostragem o principal fator para a elevação do patamar do -5mm no final de 2022 e os ajustes no processo foram responsáveis pela redução desses valores em dezembro de 2022.



**Figura 6.** Impacto da redução de CaO+SiO<sub>2</sub> no retorno interno

A redução de CaO+SiO<sub>2</sub> até o patamar de 13,8%, conforme planejamento inicial, não apresentou impacto significativo no retorno interno, de acordo com o indicativo da figura 6. Entretanto, a última redução para 13,52% pode ter provocado elevação do retorno interno, como indicativo do gráfico. Vale salientar que a elevação do MgO também impactou o retorno interno no período.

### 2.2.2 Impacto do MgO



**Figura 7.** Impacto do MgO no retorno interno

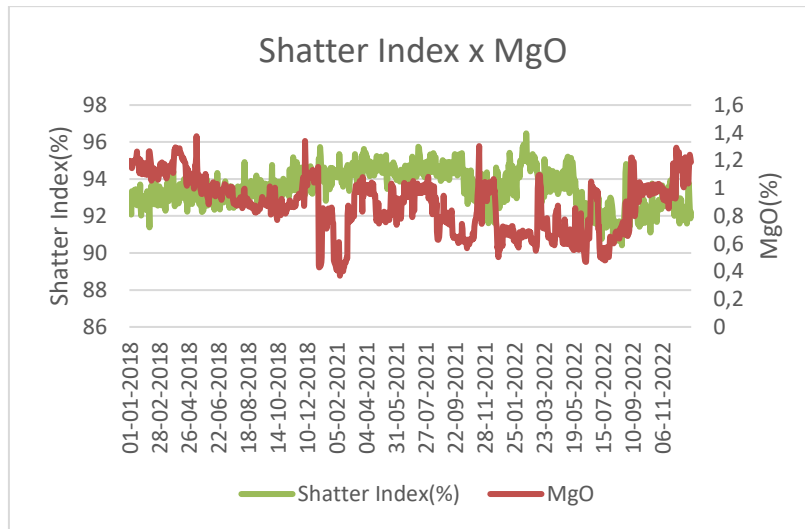
Na figura 7 é possível visualizar o impacto do MgO no retorno interno. O início de 2018 e final de 2022 são os períodos com maior teor de MgO e, também, com a maior geração de retorno interno na máquina. Logo, a redução do teor de MgO reduz a geração de retorno interno

**Tabela 3 -** Comparativos entre períodos com alto teor de MgO

Períodos	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub> +CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Basicidade	Retorno Interno(kg/t-s)
01/03/2018-26/03/2018	7,58	5,33	9,02	14,35	1,35	1,16	1,70	324,50
27/11/2022-31/12/2022	7,51	5,08	8,43	13,52	1,39	1,15	1,66	362,30

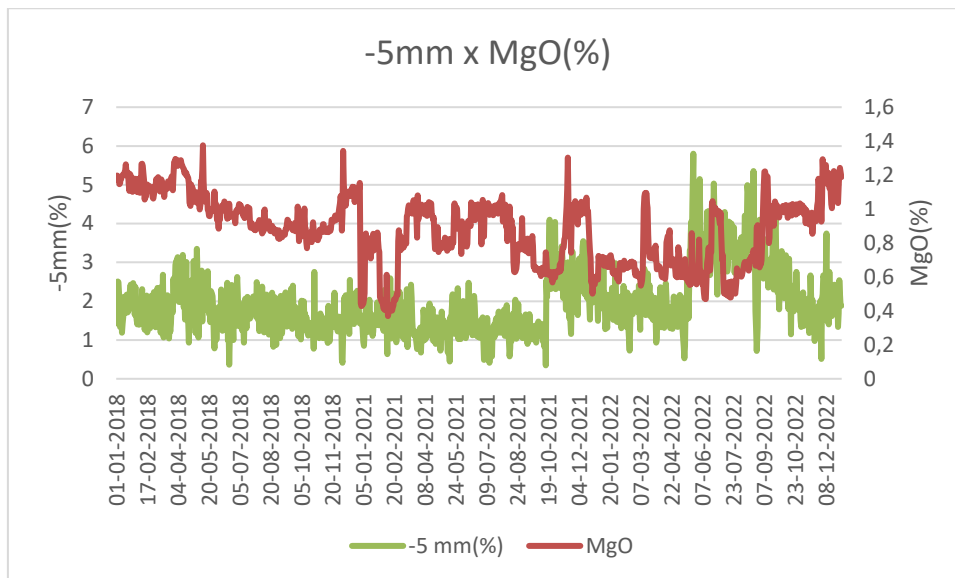


Na tabela 3 é possível comparar 2 períodos com alto teor de MgO na qual a principal variação é no teor de SiO<sub>2</sub>+CaO, quando falamos de qualidade química. Os dados são um indicativo que a redução do teor de SiO<sub>2</sub>+CaO contribuiu para o aumento do retorno interno quando o MgO está entre 1,15 e 1,20 para a planta em questão.



**Figura 8.** Impacto do MgO no Shatter index

Na figura 8 é possível visualizar impacto do MgO no *shatter index* no período do início de 2018, pois após a redução do MgO ocorreu uma elevação dessa propriedade, identificada via gráfico. No final de 2022 o impacto não é sentido fortemente visto que o patamar do *shatter* se mantém estável após elevação do MgO em dezembro.



**Figura 9.** Impacto do MgO no -5mm

Na análise da figura 9 não é possível identificar alteração no -5mm devido alteração no MgO(%). As principais alterações de patamar no sistema ocorreram devido outras alterações no processo.



Dessa forma, é possível inferir que a redução do MgO é benéfica para o processo, visto que os dados indicam que reduz a geração do retorno interno e aumenta o *Shatter index*.

### 3 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi realizado uma avaliação dos impactos da redução dos teores de CaO, SiO<sub>2</sub> e MgO nas qualidades físicas do sinter produto. Para tal, foi escolhido a geração de retorno interno, -5mm e *Shatter index* como parâmetros a serem analisados. Para a redução de CaO + SiO<sub>2</sub> até 13,8% não existe indicativo de perda significativa da qualidade do sinter para os parâmetros analisados, entretanto a redução para 13,52% ainda precisa ser avaliada sem a interferência de outros fatores. Em relação a redução do MgO, o indicativo é positivo, sendo possível identificar, principalmente, redução na geração do retorno interno com a redução da MgO. Vale salientar que com o CaO+SiO<sub>2</sub> mais baixo o impacto da elevação do teor de MgO no retorno interno foi mais forte. Dessa forma, temos que a redução do CaO+SiO<sub>2</sub> acompanhada pela redução do MgO é uma alternativa interessante para a elevação do ferro total do sinter reduzindo os impactos nas qualidades físicas.

### Agradecimentos

Agradecimento a Deus, time da ArcelorMittal Pecém, em especial a equipe da sinterização e gerência técnica, amigos e familiares.

### REFERÊNCIAS

- 1 Fernández-González D, Ruiz-Bustanza I, Mochón J, González-Gasca C, Verdeja LF. Iron Ore Sintering: Process. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2017; 38 (4): 215-227.
- 2 Gan M, Fan X, Chen X. Calcium Ferrit Generation During Iron Ore Sintering — Crystallization Behavior and Influencing Factors [Internet]. *Advanced Topics in Crystallization*. InTech; 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/59659>
- 3 Azevedo RN; Araújo HGV; Gondim EP; Duarte MR. Correlação entre volume de escória e parâmetros de qualidade do Sinter Produto. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*. 2005;6:56-61.
- 4 Higuchi K, Yokoyama H, Nishimura T, Ito Y, Furosho, Murakami T, Urabe M. Reducing Slag Volume at Cohesive Zone of Blast Furnace by using Low-Slag Sintered Ore with Reducible Magnetite. *ISJ International*, 2022: 1136-1145
- 5 Higuchi K, Orimoto T, Koizumi F, Furuta H, Takamoto Y, Sato T, Shinagawa K. Quality Improvement of Sintered Ore in Relation to Blast Furnace Operation. *Nippon Steel Technical Report N° 94*, 2006. |