

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL DO FORNO ROTATIVO DE CALCINAÇÃO DA USIMINAS¹

*Guilherme César Silva Rodrigues²
Carlos André Ruy Carneiro³
Hélio Alexandre Alves⁴*

Resumo

A dolomita calcinada é a principal fonte do MgO compondo a escória de convertedor LD. A sua qualidade é de suma importância para o processo, pois a saturação da escória em MgO evita o ataque e o desgaste do revestimento refratário. Neste sentido, os aspectos termoquímicos e operacionais do forno rotativo de calcinação da Usiminas em Ipatinga foram estudados, visando propiciar a melhoria da qualidade da dolomita produzida e garantir que os convertedores sejam abastecidos com um material eficiente para preservação do revestimento refratário. Para isso, os principais parâmetros de processo do forno rotativo foram alterados, possibilitando a produção de dolomita calcinada com baixo índice de PPC, evidenciando um produto de melhor qualidade.

Palavras-chave: Dolomita calcinada; Forno rotativo de calcinação; Revestimento refratário.

OPERATIONAL OPTIMIZATION OF ROTARY KILN OF USIMINAS

Abstract

The burnt dolomite is the main source of MgO composing the slag of the LD converter. Its quality is of great importance to the process, because the saturation of the slag in MgO avoids the attack and wear of the refractory lining. In this sense, thermochemical and operational aspects of the rotary kiln of Usiminas Ipatinga were studied, aiming to control the quality of the produced burnt dolomite, and ensure that the converters are supplied with a material effective to preserve the refractory lining. So, the main rotary kiln parameters were modified, enabling the production of burnt dolomite with low loss on ignition index, showing a product with better quality.

Key words: Burnt dolomite; Rotary kiln; Refractory lining.

¹ *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Aciaria – Internacional, 26 a 29 de maio de 2013, Araxá, MG, Brasil.*

² *Membro da ABM, Técnico em metalurgia, Gerência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.*

³ *Engenheiro Metalurgista; Gerência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.*

⁴ *Técnico em metalurgia; Gerência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A dolomita calcinada é um dos fundentes mais utilizados nas aciarias e possui um papel fundamental na fabricação do aço no convertedor LD. A adição de dolomita durante o refino do aço é responsável pela saturação da escória de convertedor com óxido de magnésio (MgO), reduzindo o desgaste nas paredes refratárias do reator.

A produção da dolomita calcinada no forno rotativo se dá pela reação de calcinação da dolomita crua em temperaturas entre 900°C e 1.200°C, descrita na Equação 1.^(1,2)



De acordo com a Equação 1, a dolomita crua ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) se decompõe em $\text{CaO} \cdot \text{MgO}(s)$ e $\text{CO}_2(g)$ quando calor suficiente é fornecido. Nos fornos rotativos de calcinação da Usiminas, o calor para a reação de decomposição é preferencialmente da queima do gás de coqueria COG (*Coke Oven Gas*). Na ausência do COG, o óleo BTE é utilizado como fonte de calor alternativa. Na Figura 1 é apresentada uma visão esquemática deste forno.

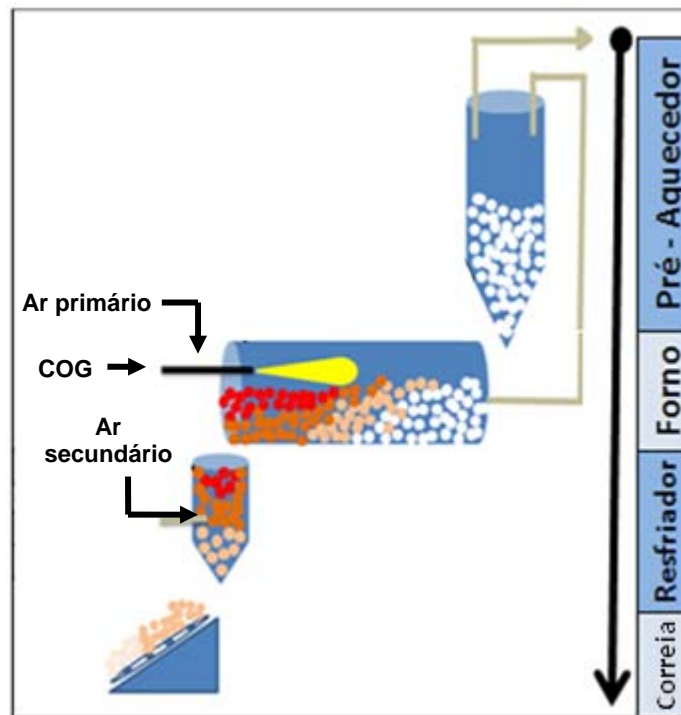


Figura 1. Visão esquemática do forno rotativo de calcinação.

A dolomita crua é pré-aquecida no pré-aquecedor pelos próprios gases gerados no forno rotativo. Após a troca de calor dentro do forno, os gases entram no pré-aquecedor a uma temperatura de aproximadamente 600°C.

Assim, a dolomita pré-aquecida é carregada no forno rotativo, constituído basicamente de um tubo cilíndrico revestido com refratários, que gira a uma rotação média de 1,2 rotações por minuto (rpm). A rotação, somada a inclinação de 2° do forno, possibilita a movimentação da dolomita ao longo de todo o percurso dentro do forno, onde será calcinada a temperaturas acima de 900°C, basicamente pela radiação da chama e pela convecção dos gases de sua decomposição, até ser descarregada no resfriador. Após passar pelo resfriador, a dolomita calcinada estará pronta para o consumo nas aciarias.

No processo de fabricação da dolomita calcinada em forno rotativo, o índice de perda por calcinação (PPC) e os teores de MgO, CaO e S devem ser devidamente controlados, de forma a evitar problemas na sua aplicação operacional.

Dentro deste contexto, alguns parâmetros do forno de calcinação foram estudados e ajustados, com o objetivo de melhorar a qualidade da dolomita calcinada produzida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de trabalho foi dividida em três etapas, conforme descrito a seguir.

2.1 Construção do Modelo Termoquímico do Forno de Calcinação

Foi desenvolvido um modelo termoquímico do forno rotativo de calcinação, com o objetivo de descrever os aportes térmicos do processo e a estequiometria da reação de calcinação. As variáveis de entrada do modelo são as mesmas controladas operacionalmente

2.2 Análise Preliminar da Qualidade da Dolomita Calcinada

Para melhor direcionamento das ações e avaliação dos resultados, a qualidade da dolomita calcinada produzida nos fornos rotativos foi avaliada sob as condições normais de operação dos fornos, utilizando somente COG como combustível. Isto foi feito por meio de análises químicas da dolomita no intervalo de um mês, objetivando avaliar o índice PPC e os teores de MgO, CaO e S.

As condições de operação do forno no período de análise foram:

- vazão de COG: 2.700 Nm³/h;
- vazão de ar primário: 1.500 Nm³/h; e
- vazão de ar secundário: 14.500 Nm³/h.

2.3 Alterações nos Parâmetros Operacionais do Forno de Calcinação

Com base na análise do processo via modelo termoquímico, foi proposta a alteração das vazões de COG, ar primário e ar secundário para 2.800 Nm³/h, 1.450 Nm³/h e 13.400 Nm³/h, respectivamente. As modificações sugeridas buscaram como premissa melhorar a condição térmica do forno pelo aumento do perfil térmico da chama gerada.

No período em que os testes industriais foram executados, realizou-se 27 amostragens de dolomita calcinada com o intuito de avaliar o reflexo das modificações sobre o processo. As amostragens foram realizadas três vezes ao dia num intervalo de cinco horas, buscando uma maior representatividade das alterações propostas. Além de analisar a qualidade da dolomita produzida durante os experimentos, também foi utilizado o equipamento termográfico FLIR-A325 para medir o perfil térmico da chama.

Na Figura 2 é apresentado o local onde o equipamento foi posicionado para a realização das medições do perfil térmico da chama.



Figura 2. Janela de acesso utilizada para as medições de temperatura da chama.

3 RESULTADOS

3.1 Modelo Termoquímico do Forno de Calcinação

O modelo termoquímico desenvolvido permitiu o entendimento das mudanças nos resultados de saída do forno em função das alterações nos parâmetros de entrada. Variáveis como a vazão de combustível, vazão de ar primário e secundário, massa de dolomita crua, temperatura do forno e temperatura do pré-aquecedor, puderam ser estudadas com o modelo. Na Figura 3 é apresentada a interface do modelo.

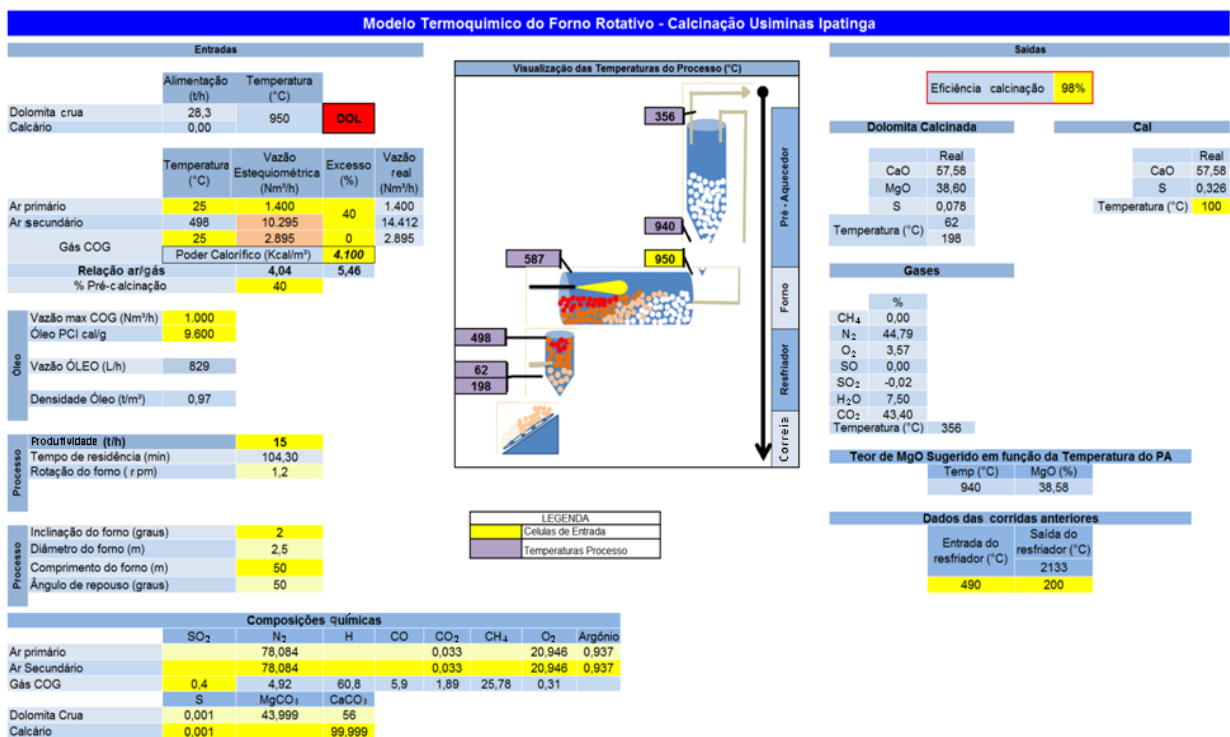


Figura 3. Interface do modelo termoquímico.

3.2 Qualidade da Dolomita Calcificada Antes e Durante os Experimentos

Logo após os testes industriais se iniciarem, a qualidade da dolomita calcificada, no que diz respeito ao índice de perda por calcinação, melhorou consideravelmente (Figura 4). Uma análise estatística comprovou, com 95% de confiança, que o índice de PPC foi reduzido de 9,4%, no valor histórico, para 2,7%, após os ajustes nos parâmetros operacionais realizados. Os resultados médios são discriminados na Figura 4.

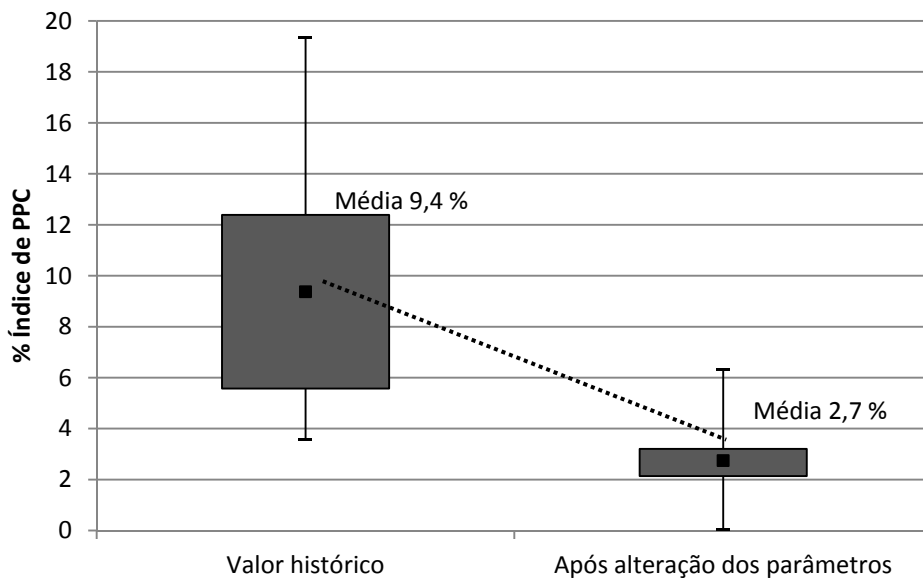


Figura 4. Índice de PPC histórico e após alterações dos parâmetros industriais.

Com a redução do índice de PPC, os teores de MgO e CaO da dolomita calcificada produzida, após a alteração dos parâmetros, foram conseqüentemente elevados (Figuras 5 e 6).

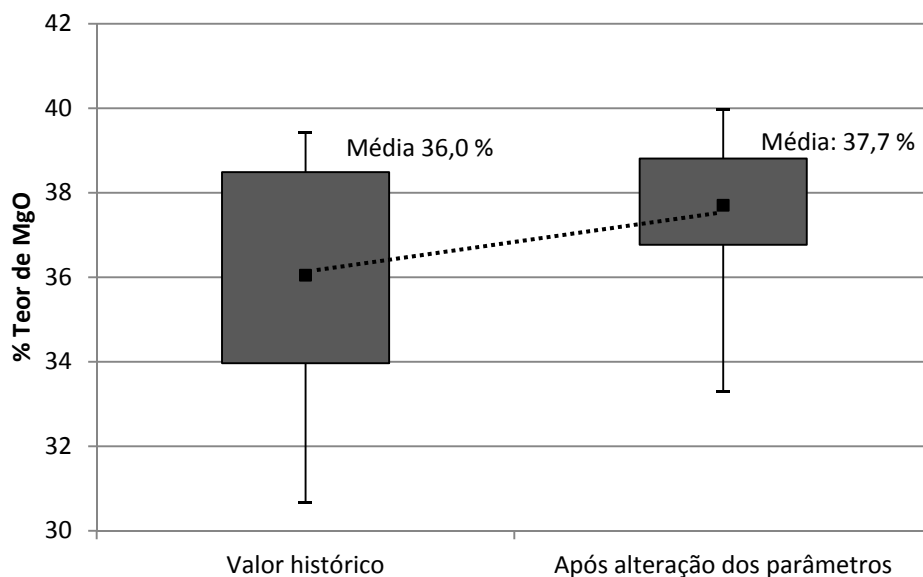


Figura 5. Teor de MgO histórico e após alterações dos parâmetros industriais.

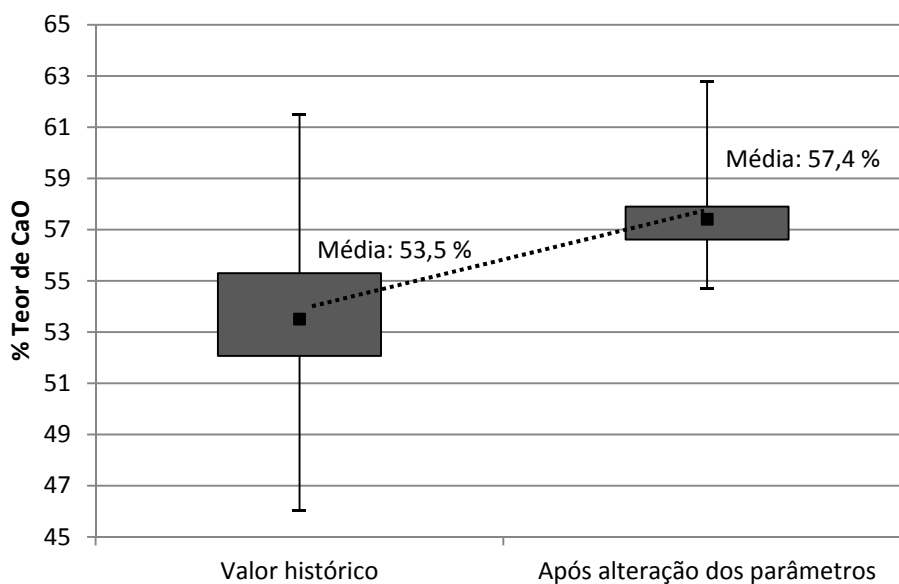


Figura 6. Teor de CaO histórico e após alterações dos parâmetros industriais.

Foi verificado, por meio de análise estatística, que os teores de MgO e CaO após as alterações dos parâmetros industriais são estatisticamente maiores que os valores históricos, com 95% de confiança. O teor de MgO foi aumentado, em média, de 36,0% para 37,7%, e o teor de CaO foi elevado de 53,5% para 57,5%.

O teor de enxofre da dolomita produzida também foi comparado com o valor histórico (Figura 7). Embora a média tenha sido elevada de 0,062% para 0,071%, foi verificado, com 95% de confiança, que não há diferença do teor de enxofre nos dois períodos.

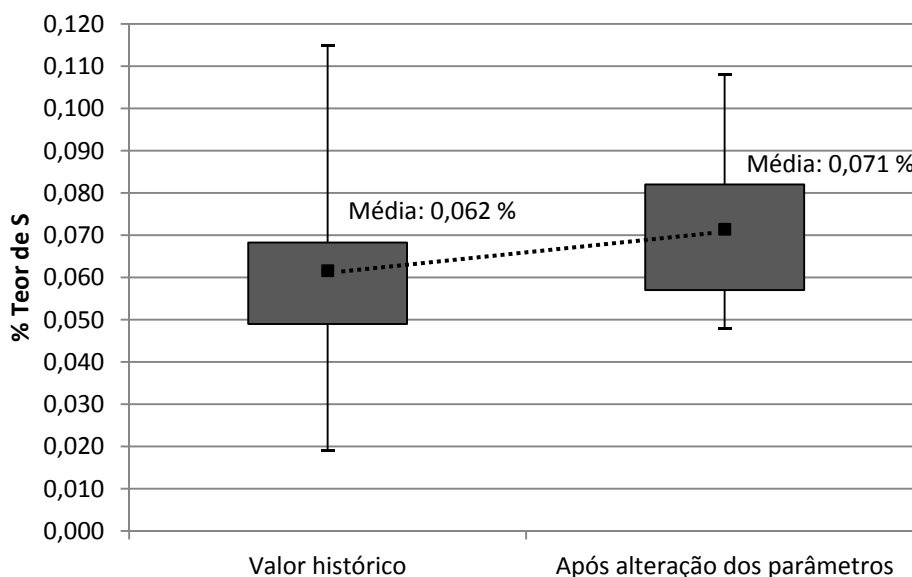


Figura 7. Teor de enxofre histórico e após alterações dos parâmetros industriais.

Além de obter bons resultados na qualidade da dolomita calcinada, foi possível caracterizar o perfil térmico da chama. Na Figura 8a, é mostrada a imagem termográfica de umas das medições realizadas visando à obtenção do perfil térmico da chama. A linha horizontal na região de análise foi padronizada em todas as imagens termográficas realizadas, isso porque o comportamento da chama impede

a fixação de um ponto de medição. Na Figura 8b, é apresentado o perfil de temperatura da chama ao longo das medições.

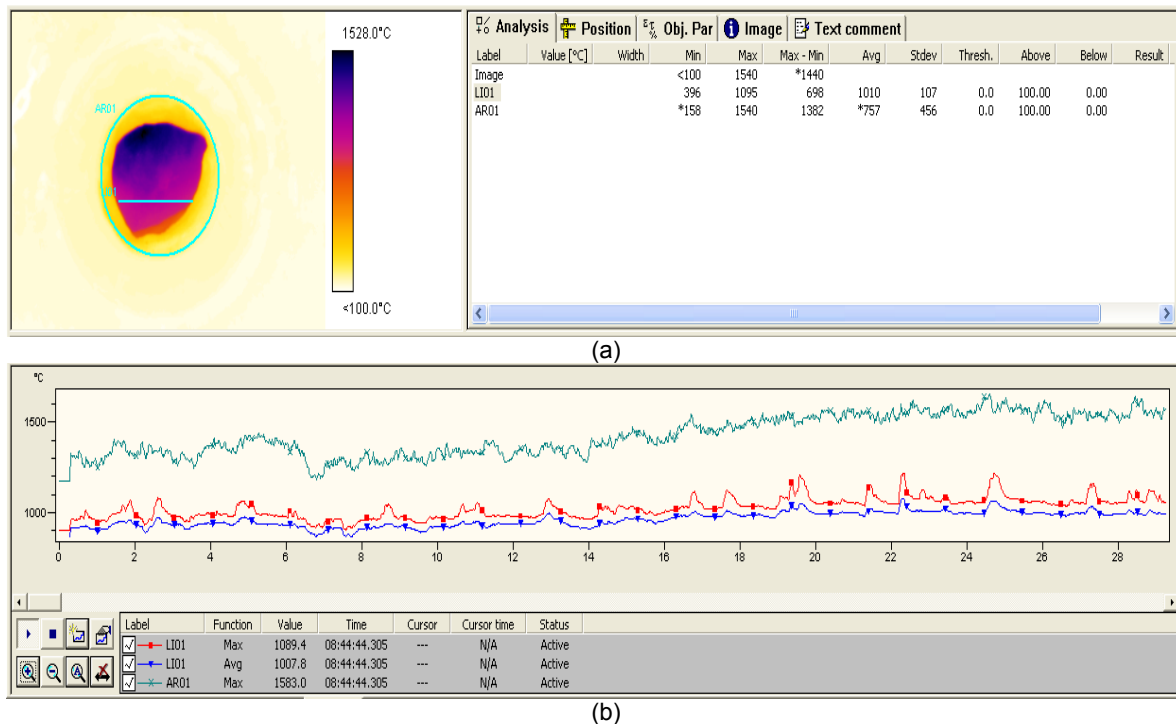


Figura 8. (a) Imagem termográfica da chama; e (b) perfil de temperatura da chama ao longo das medições.

Como visualizado na escala de temperatura, as regiões mais claras possuem temperaturas mais baixas, enquanto as regiões mais escuras apresentam maior temperatura. Assim, nas medições realizadas pode se obter a máxima temperatura da chama visível na região de medição.

A temperatura máxima da chama obtida para as condições testadas foi de 1.810°C . Tal fato se deve à redução do comprimento da chama, via redução da vazão do ar primário, a redução da vazão do ar secundário, que é um gás pré-aquecido, e ao aumento da vazão do COG, otimizando a relação ar/gás. Na condição anterior a temperatura máxima da chama não passava de 1.725°C .

Utilizando correlações entre os teores de MgO, obtidos no produto final, e parâmetros operacionais, foram identificadas as temperaturas ótimas a serem visadas no forno, em cada etapa, ou seja, entrada do pré-aquecedor e entrada do forno. Na Figura 9 é apresentado o padrão de trabalho, com as condições ótimas, para o forno rotativo.

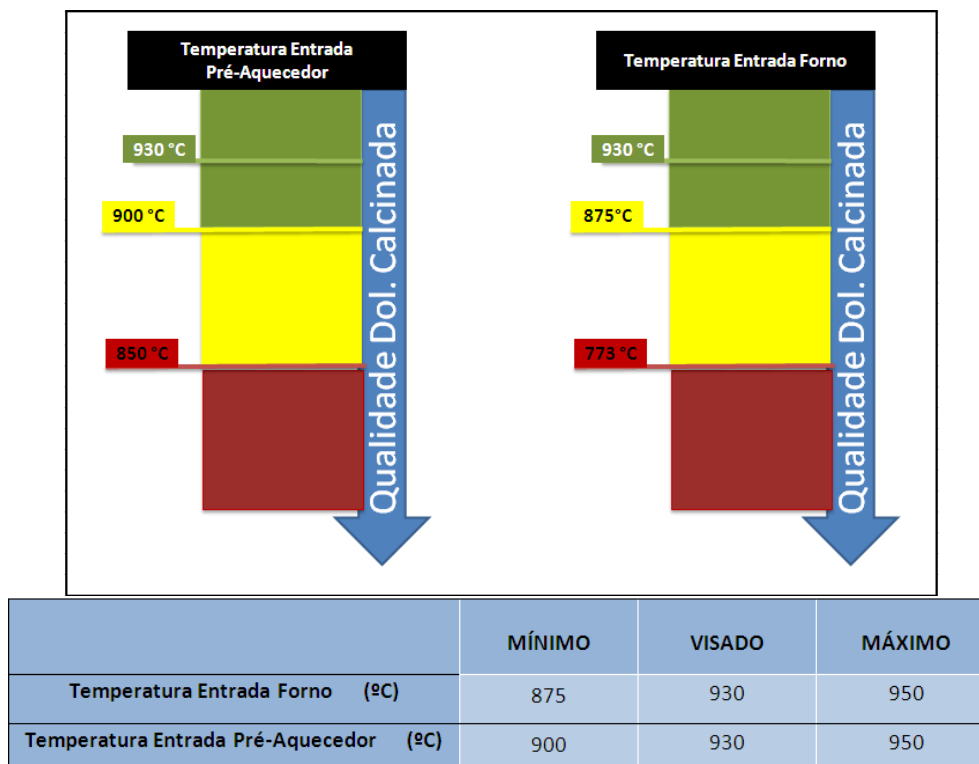


Figura 9. Padrão aplicado na área operacional.

4 CONCLUSÃO

Por meio de uma investigação das condições operacionais, da qualidade da dolomita calcinada e a criação de um modelo termoquímico, foi possível estudar vários parâmetros no processo de calcinação, tais como: o consumo dos gases de combustão, as vazões de ar primário e secundário, temperatura nas diversas regiões do forno e o perfil de chama.

A redução de ar primário e secundário, bem como o aumento da vazão de gás COG, fez com que a chama do forno atingisse uma temperatura da ordem de 1.810°C. Com base nos resultados e nos acompanhamentos realizados, verificou-se uma redução significativa no índice de perda por calcinação (PPC) de 9,4% para 2,7% com as alterações nos parâmetros industriais. Adicionalmente, foi verificado, na dolomita calcinada produzida, um aumento médio no teor de MgO de 36,0% para 37,7%, enquanto o teor de CaO foi elevado, em média, de 53,5% para 57,4%. O teor de enxofre também foi analisado, e não foi verificada diferença entre o valor histórico e os resultados obtidos após a alteração dos parâmetros. Para garantir uma dolomita de boa qualidade, foram definidos alvos de temperaturas a serem atingidas no forno rotativo, sendo acima de 900°C na entrada do pré-aquecedor e acima de 875°C na entrada do forno.

REFERÊNCIAS

- 1 SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. Calcário e dolomito. In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e especificações Rio de Janeiro: CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, p. 327-350, 2005.
- 2 SESHADRI, V.; TAVARES, R. P., SILVA, C. A.; SILVA, I. A. Fenômenos de transporte: Fundamentos e aplicações nas Engenharias Metalúrgica e de Materiais. São Paulo: ABM - Associação Brasileira de Materiais, 2010.