

## IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE AVANÇADO NO FORNO DE ENDURECIMENTO\*

Hugo Montalvão Gontijo<sup>1</sup>  
Marcelo Montalvão Gontijo<sup>2</sup>  
Ricardo Olympio de Freitas<sup>3</sup>  
Lucas Campos Pires<sup>4</sup>  
Wellington Bonelar dos Santos<sup>5</sup>  
Rodrigo Boyer Fernandes<sup>6</sup>  
Leonardo Nogueira Ferri<sup>7</sup>

### Resumo

Sistemas de controle avançado são utilizados em diversas etapas do processo de produção de pelotas de minério de ferro, tais como moagem, pelotamento e forno de endurecimento. O trabalho visa demonstrar as etapas para implementação de um sistema de controle avançado Metso OCS-4D© em um forno de endurecimento do tipo *Straight Grate* visando padronizar a operação, aumentar a produção, reduzir o gasto energético e reduzir a variabilidade da qualidade das pelotas queimadas.

**Palavras-chave:** Otimização; Controle Avançado; Pelotização; Fornos de grelha móvel.

### IMPLEMENTATION OF OPTIMIZING CONTROL SYSTEM AT INDURATION MACHINE

#### Abstract

Advanced Process Control systems are used in several parts of iron ore pellets production, such as grinding, pelletizing and induration. This paper shows the main steps on Metso OCS-4D© implementation in a straight grate induration machine aiming standardizes operation, increase throughput, decrease energetic costs and decrease quality variation of fired pellets.

**Keywords:** Optimizing; Advanced Process Control; Pelletizing; Straight grate induration machine.

<sup>1</sup> Engenheiro de Controle e Automação, Mestre, Engenheiro de Controle Avançado de Processos, Process Optimization, Metso, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Controle e Automação, Mestre, Engenheiro de Controle Avançado de Processos, Process Optimization, Metso, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Minas, Departamento de Pelotização (DIPE), Vale S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro de Controle e Automação, Departamento de Pelotização (DIPE), Vale S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>5</sup> Técnico Metalúrgico, Técnico Especializado em Controle de Processo, Departamento de Pelotização (DIPE), Vale S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>6</sup> Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processos, Departamento de Pelotização (DIPE), Vale S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>7</sup> Técnico de Automação, Departamento de Pelotização (DIPE), Vale S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil..

## 1 INTRODUÇÃO

As pelotas de minério de ferro são produzidas a partir do *Pellet Feed* (finos do minério de ferro), tipicamente com uma granulometria menor que 0,15mm. Além do *Pellet Feed* geralmente são adicionados aditivos como carvão, para melhorar a queima; calcário para ajudar na aglomeração e correção da basicidade; bentonita para melhorar a resistência. Para formação das pelotas verdes (ou pelotas cruas) são utilizados discos ou tambores de pelotamento.

As pelotas verdes produzidas no pelotamento possuem uma forma esférica com cerca de 8 a 16mm de diâmetro. Elas seguem para um forno de endurecimento (tipo *Straight Grate* ou *Grate Kiln*) no qual percorrem as zonas de secagem, queima e resfriamento, proporcionando um aumento da sua resistência a abrasão e compressão ao final deste processo. O fluxo de gases dentro do forno é controlado pelos ventiladores e o perfil de temperatura na zona de queima é controlado pelos queimadores de gás natural ou óleo. A recirculação dos gases dentro do forno é utilizada para recuperar energia.

Um sistema de controle e automação típico de um forno de endurecimento é composto pelos instrumentos (medidores de pressão, temperatura, etc.) e atuadores (velocidade da grelha, válvulas dos queimadores, *dampers*, rotação dos ventiladores, etc.) interligados a um PLC (*Programmable logic controller*) ou DCS (*Distributed control system*) e a um sistema supervisório. No PLC/DCS são configuradas as lógicas de intertravamento e as malhas de controle regulatório (controle de pressão, temperatura, etc.). O operador da sala de controle utiliza como interface o supervisório para visualizar os alarmes, partir e parar os equipamentos, alterar os *setpoints* das malhas de controle regulatório, etc. Dessa forma, cabe ao operador da sala alterar os parâmetros de operação para produzir pelotas dentro da especificação desejada (basicidade, compressão, abrasão, etc.).

Os sistemas de controle avançado são utilizados para reduzir a interferência humana, permitindo o desenvolvimento de lógicas complexas para cálculos dos *setpoints* anteriormente determinados pelo operador. Um sistema de controle avançado deve conter vários módulos para facilitar o desenvolvimento, a manutenção e a compressão das lógicas.

Os sistemas de controle avançado podem ser aplicados a diversas etapas do processo de produção das pelotas, resultando em diferentes benefícios.

Moreira [1] utilizou o sistema de controle avançado Metso OCS® para otimizar a moagem de carvão da Samarco Ubu, controlando a pressão entrada e a temperatura de saída do moinho, manipulando a alimentação, válvula de gás quente e a válvula de retorno do moinho. O sistema além de melhorar a pressão e a temperatura, aumentou a produtividade em 8% quando comparado com o controle convencional.

Na etapa de pelotamento é possível medir *online* a distribuição granulométrica das pelotas verdes na saída dos discos, capturando as imagens por meio de câmeras e analisando-as com um *software*. Com essa medição, obtida a partir do sistema VisioPellet™, Borim [2] implementou um sistema de controle avançado Metso OCS® para manipular a taxa de alimentação e a rotação dos discos, controlando o tamanho das pelotas. O sistema aumentou a quantidade de pelotas no tamanho ótimo, aumentou a produção em 2,92% e reduziu o consumo de energia elétrica em 2,0%.

Sfalsin [3] também utilizou nos Fornos I e II da Samarco Ubu um sistema de medição de pelotas por imagens, desenvolvido *in-house*, em conjunto com o sistema de controle avançado Metso OCS®, obtendo aumento da quantidade de pelotas no

tamanho ótimo, redução do consumo de gás natural em 15,6%, redução de 25% de aglomerante orgânico e aumento da produção de 16,1%.

No forno de endurecimento do tipo *Grate Kiln*, o sistema de controle avançado Metso OCS© foi utilizado por Stewart [4] na USSteel Minntac para manipular a velocidade da grelha, *dampers* dos ventiladores e vazão de combustível. Testes preliminares indicaram uma estabilização das temperaturas do forno e uma redução de 5,3% de combustível.

Matos [5] utilizou o sistema de controle avançado Metso OCS© para manipular, na Usina II da Samarco Ubu, a alimentação e os *dampers* dos ventiladores de um forno tipo *Straight Grate*, resultando em um aumento de produção de 0,5% a 3% (variando de acordo com o tipo de pelota produzida), redução do consumo de energia dos ventiladores e redução da variabilidade da qualidade das pelotas queimadas.

No presente trabalho, serão detalhadas as etapas para implantação do sistema de controle avançado Metso OCS-4D© em um forno tipo *Straight Grate* de uma das mais modernas plantas de pelotização do mundo, inaugurada ao final de 2014 no Brasil. O sistema permite padronizar a operação, aumentar a produção, reduzir o gasto energético e reduzir a variabilidade da qualidade das pelotas queimadas.

Além da usina de pelotização citada acima, o sistema Metso OCS-4D©, que é uma evolução do OCS©, também se encontra implementado na Cliffs Tilden (Fornos 1 e 2, ambos tipo *Grate Kiln*), Samarco Ubu (Usina IV, forno tipo *Straight Grate*) e em uma planta em Omã (dois fornos tipo *Grate Kiln*).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi implantado no pelotamento, após cada um dos discos, o sistema VisioPellet™ para medição *online* da distribuição granulométrica das pelotas verdes. Em seguida foi desenvolvido o sistema de controle avançado Metso OCS-4D© para otimizar o tamanho das pelotas manipulando a alimentação e rotação dos discos. Além da distribuição granulométrica, o *software* de análise das imagens estima a cor, esfericidade, *top size*, desvio padrão do tamanho e a curva de Rosin Rammler. É possível visualizar o histórico das imagens das câmeras em conjunto com as análises e os dados de processo (como por exemplo o histórico da distribuição granulométrica, esfericidade, alimentação dos discos, retorno do pelotamento, etc.). O sistema de medição *online* utilizado é ilustrado na Figura 1.

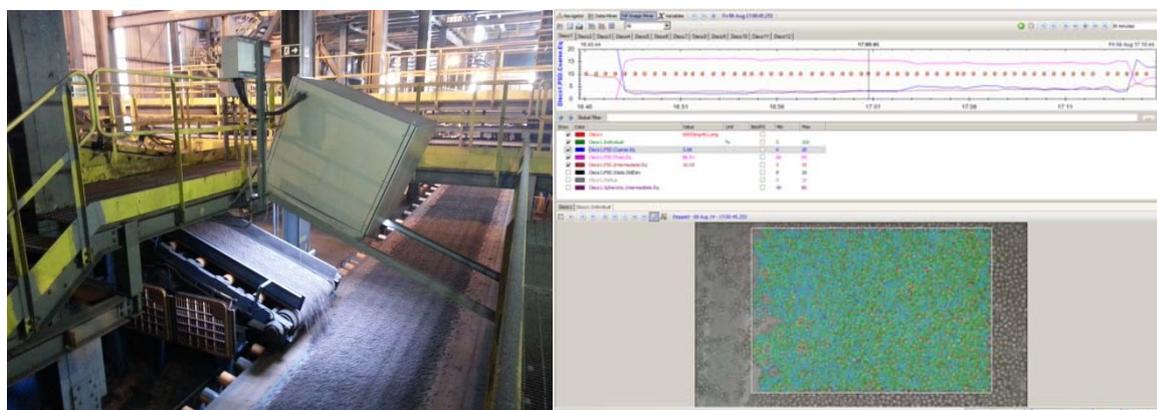


Figura 1. Sistema de medição *online* da distribuição granulométrica das pelotas verdes.

O produto do pelotamento alimenta um forno tipo *Straight Grate* projetado para produzir 7,5mtpy com 8 ventiladores de processo. Dentro do forno, o carro grelha com

as pelotas percorrem as zonas de secagem ascendente, secagem descendente, pré-aquecimento, queima, pós-queima e resfriamento. O tempo gasto nesse percurso varia entre 30 e 40 minutos, considerando que o forno possui cerca de 192m de comprimento e a velocidade da grelha varia entre 5 a 6m/min (de acordo com a taxa de alimentação). O desenho do forno com os ventiladores de processo é ilustrado na Figura 2.

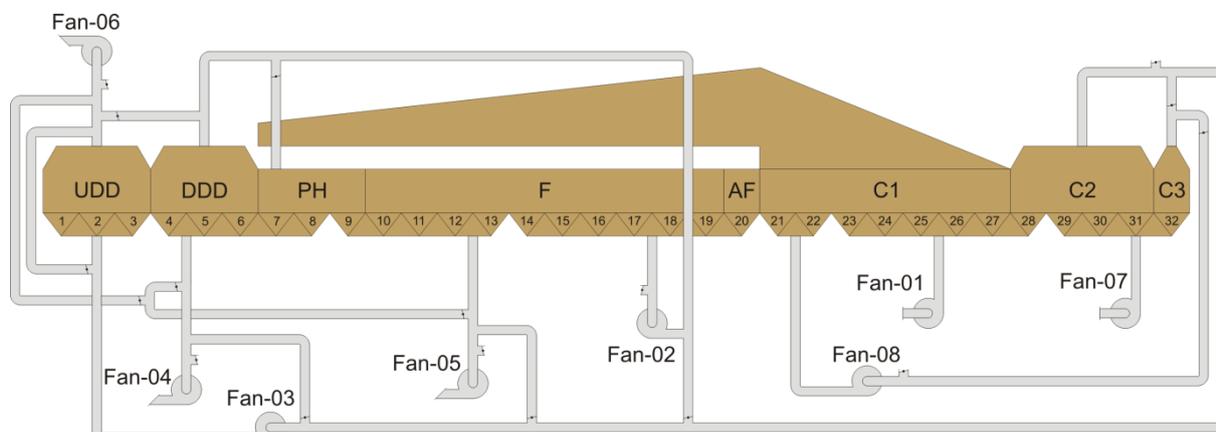


Figura 2. Forno tipo *Straight Grate* com os ventiladores de processo

O sistema de controle avançado para o forno foi implantado com a utilização da plataforma Metso OCS-4D®, o qual disponibiliza além das tradicionais regras com lógica *fuzzy*, a possibilidade de utilizar *scripts*, estatísticas, modelos fenomenológicos com filtros de Kalman, MPC (*model predictive control*), etc. A interface gráfica de programação, os históricos das lógicas e dados de processo facilitam a compreensão das ações do sistema pelos usuários. A interface para desenvolvimento da lógica é ilustrado na Figura 3.

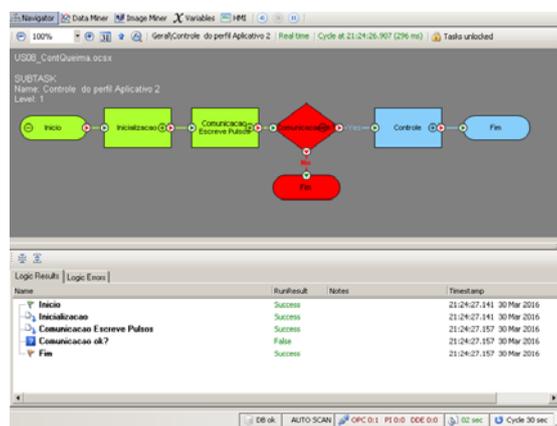


Figura 3. Interface para programação do sistema de controle avançado.

A lógica *fuzzy* é uma técnica muito utilizada por sistemas de controle avançados aplicados a mineração. Ela possibilita construir as regras do tipo “SE... ENTÃO...” utilizando variáveis linguísticas ao invés números, simplificando a programação. Para configurá-la, basta definir as funções de pertinência das variáveis que aparecem nas premissas, nas conclusões e o conjunto de regras *fuzzy*. A Figura 4 ilustra um grupo de regras *fuzzy* e as respectivas funções de pertinência.

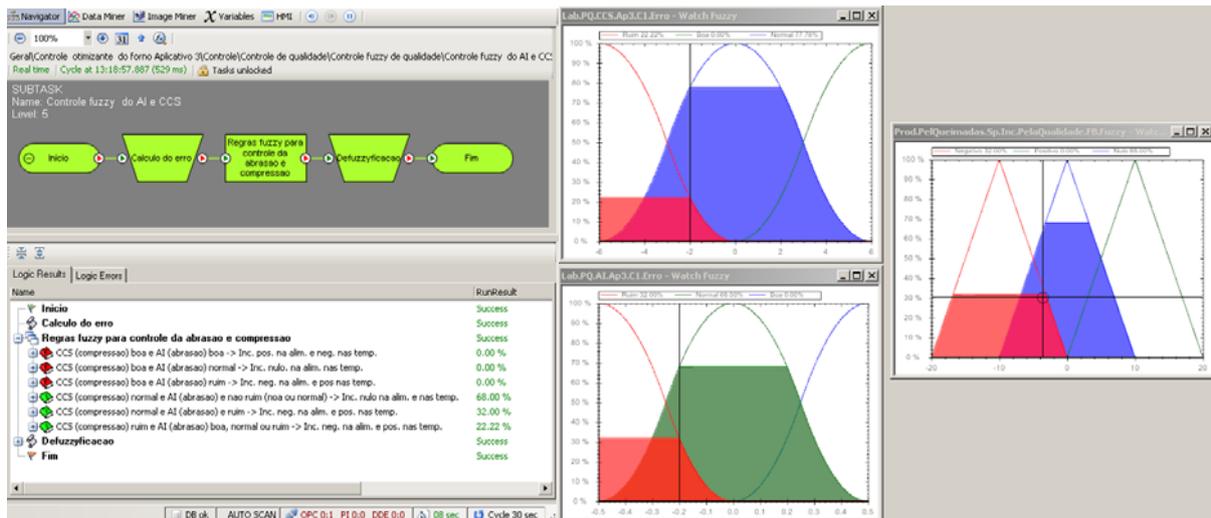


Figura 4. Grupo de regras e funções de pertinência fuzzy.

O planejamento para implantação do sistema é importante para conseguir atingir os resultados desejados ao término do projeto. Várias empresas adotam o conjunto de práticas *Six Sigma* para maximizar o desempenho de processos internos. A divisão de um projeto de controle avançado dividido nas 5 fases comumente utilizadas na metodologia *Six Sigma* (definir, medir, analisar, implantar e consolidar) é ilustrada na Figura 5.



Figura 5. Etapas da implantação de um sistema de controle avançado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implantação do projeto de controle avançado do forno envolveu pessoas de diversas áreas, tais como operação, processos e automação. A experiência da equipe envolvida no projeto foi utilizada para construir a estratégia de controle. Além dos objetivos de qualidade (compressão e abrasão das pelotas queimadas), a lógica

desenvolvida também possibilita o operador definir limites de atuação do sistema e outros limites de processo, como por exemplo, a temperatura máxima de descarga das pelotas queimadas.

O sistema de controle desenvolvido manipula o *dampers* e a rotação dos ventiladores de processo 02, 03, 04, 05, 07, e 08 (ilustrados previamente na Figura 2); os *setpoints* de temperatura do perfil da queima e a taxa de alimentação do forno (outra aplicação de controle avançado desenvolvida anteriormente otimiza a distribuição de alimentação e a rotação de cada disco de acordo com a medida de granulometria *online* das pelotas verdes).

Para permitir o sistema de controle avançado enviar os *setpoints* foi necessário realizar uma modificação na lógica do controle regulatório existente. Também se optou por criar telas no supervisório existente para facilitar o acompanhamento dos operadores pela sala de controle. A tela desenvolvida para manipulação da taxa de alimentação do forno é ilustrada na Figura 6.



Figura 6. Tela desenvolvida no supervisório para manipulação da taxa de alimentação do forno.

Os treinamentos foram divididos em 2 módulos, sendo um básico e outro avançado. O básico foi ministrado para diversas equipes, objetivando explicar o funcionamento, a estratégia implementada e como operar utilizando o sistema. O avançado foi ministrado para equipe destinada a efetuar manutenção do sistema, objetivando ensinar como modificar a lógica de controle desenvolvida.

O *software* de controle avançado utilizado também possui um módulo para geração de relatórios de utilização e indicadores de desempenho. Entretanto optou-se por desenvolvê-los no sistema de relatórios do tipo PIMS (*Process Information Management System*) que já existia no local.

O sistema medição *online* da distribuição granulométrica das pelotas verdes após os discos possui alta disponibilidade mesmo diante de um ambiente industrial com poeira e vibração (acima de 98% de disponibilidade) conforme ilustrado na Figura 7. Como essas medidas são utilizadas nos sistemas de controle avançado, é importante definir uma rotina de manutenção e limpeza para manter a alta disponibilidade e confiabilidade destas análises.

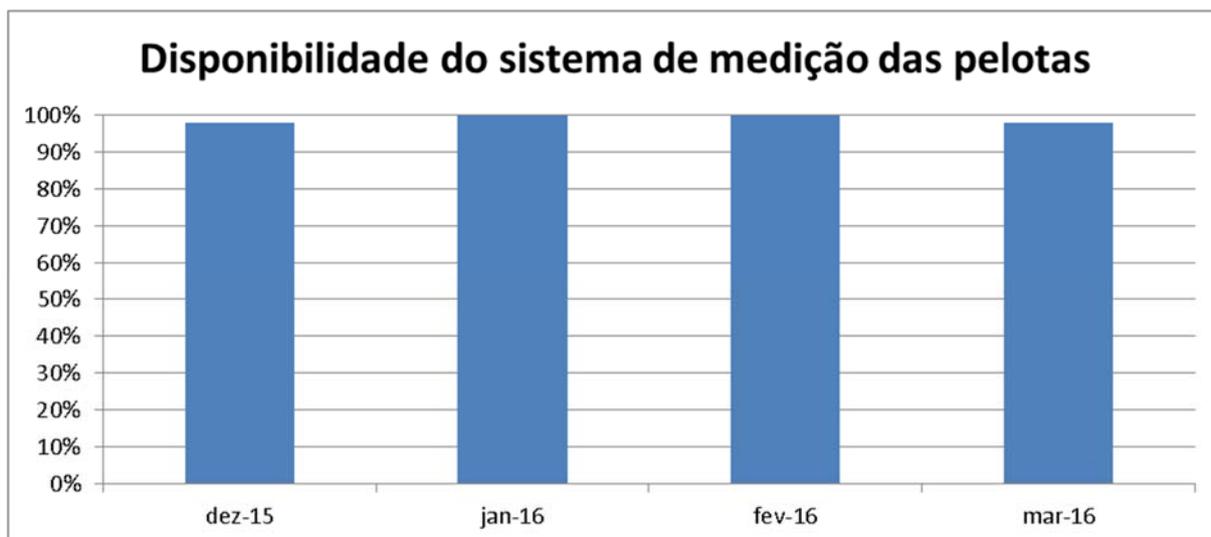


Figura 7. Disponibilidade do sistema de medição das pelotas.

A utilização dos sistemas de controle avançado também deve ser monitorada. A Figura 8 ilustra a utilização dos sistemas de controle avançado do pelotamento e do forno, a qual varia entre 70% a 94%. Sempre que a utilização do sistema estiver baixa, deve-se realizar uma análise para encontrar o problema, que pode estar associada a falha nos equipamentos ou na instrumentação, estratégia de controle defasada, falta de compreensão das ações do sistema pelos operadores e etc. De acordo com o problema, deve ser criado um plano de ação para correção da deficiência detectada.

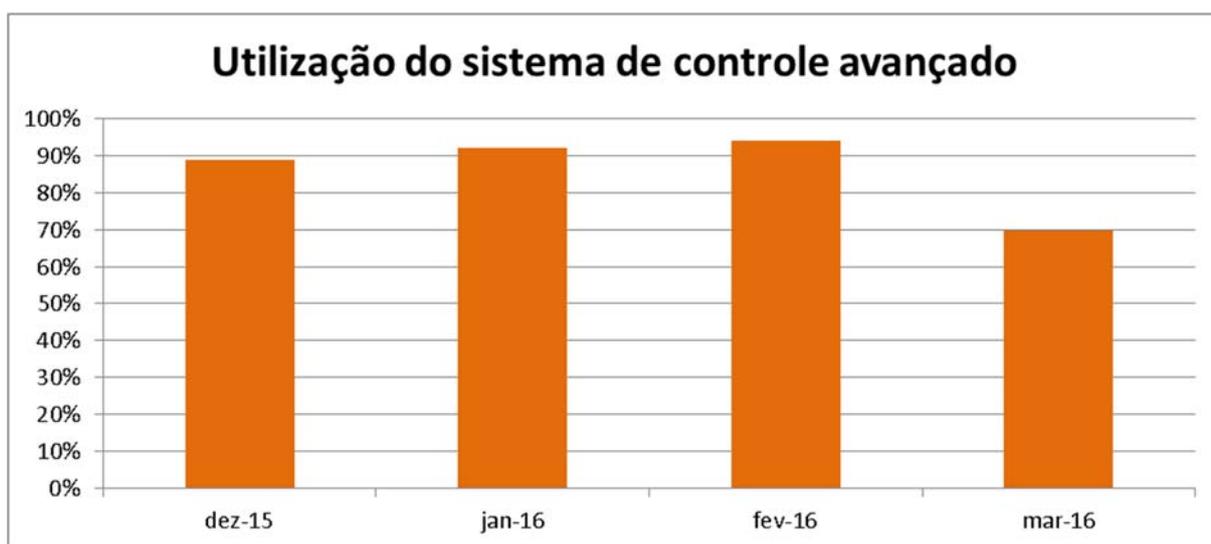


Figura 8. Utilização do sistema de controle avançado.

## 4 CONCLUSÃO

Os sistemas de controle avançado são amplamente utilizados nas diversas etapas do processo de produção das pelotas.

A implantação do sistema é multidisciplinar e envolveu representantes de várias áreas do cliente (operação, processo e automação), além da experiência da equipe técnica da Metso para possibilitar a criação de uma estratégia de controle eficiente.

A capacitação e a maturidade do cliente, aliadas a uma plataforma intuitiva e robusta, permitiram um bom nível de utilização do controle avançado de processos desde os primeiros meses após o start-up.

A geração de relatórios com indicadores dos sistemas mostra-se uma ferramenta importante que ajuda na sustentabilidade e manutenção do projeto, evitando a sua degradação com o passar do tempo.

## REFERÊNCIAS

- 1 Moreira JL, Sfalsin LA, Pereira Júnior CP, Ataíde Junior AM, Silva JM. Melhoria no desempenho do processo de moagem de carvão pela utilização de sistemas otimizantes com lógica nebulosa. 19º Seminário de Automação e TI Industrial. 2015.
- 2 Borim JC, Freitas RO. Controle automático da distribuição granulométrica de pelotas de minério de ferro em uma planta de pelotização. Revista Controle & Instrumentação. 2009;148.
- 3 Sfalsin LA, Moreira JL, Silva AJ, Cavalcante MVS. Melhoria no desempenho do processo de produção de pelotas de minério de ferro em discos de pelotização pela utilização de sistemas otimizante com lógica nebulosa. 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro. 2014.
- 4 Stewart CM, Simonson WB. Grate-Kiln Optimizing Control at United States Steel Corporation's Minntac Operation. CISA. 2008.
- 5 Matos AP, Gonçalves RG, Niero JS, Bouché C. Implementação do sistema de controle avançado no forno de endurecimento II da Samarco Mineração S/A. VI Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro. 2005.