

REDUÇÃO DO PERCENTUAL DE UMIDADE DA POLPA RETIDA COM IMPACTO SOBRE A EFICIÊNCIA TÉRMICA DO FORNO DE PELOTIZAÇÃO *

Walter Luiz Castro dos Santos¹
Leandro Resinentti Zanor²

Resumo

Na produção de pelotas de minério de ferro, um dos fatores que influenciam fortemente no custo de transformação minério-pelota é o consumo específico de gás natural que ocorre durante a etapa de processamento térmico das pelotas. O processo de filtragem é a etapa onde ocorre a adequação do percentual de umidade da polpa retida, para que posteriormente haja o processamento nas etapas subsequentes do pelotamento e endurecimento de pelotas. A água contida na pelota crua é retirada na etapa do processamento térmico. Para tanto, a literatura indica a demanda de 600 Kcal / kg de água para que seja realizado o aquecimento e vaporização da umidade das pelotas cruas. A análise estatística dos dados de performance de uma Usina de Pelotização mostrou que para cada decremento de 0,1% de água na polpa retida equivale à redução de 0,091 Nm³ no consumo de gás natural por tonelada de pelotas produzidas. Desta forma, a adequada performance da etapa de Filtragem é fundamental para redução do percentual de umidade da polpa retida e conseqüentemente para o aumento da eficiência energética dos Fornos de Pelotização. Este artigo apresenta a condução de um trabalho para elevação da performance de Filtragem com foco na redução no percentual de umidade da polpa retida e os impactos positivos sobre o consumo específico de gás natural de uma Usina de Pelotização.

Palavras-chave: Percentual de umidade; Filtragem; Consumo de gás natural

STABILIZATION OF PELLETING PLANT PERFORMANCE WITH AN IMPACT ON ENERGY CONSUMPTION REDUCTION

Abstract

In the production of iron ore pellets, one of the factors that strongly influence the cost of ore-pellet processing is the specific consumption of natural gas that occurs during the thermal processing stage of the pellets. The filtration process is the step where the adequacy of the moisture percentage of the retained pulp occurs, so that subsequently there is the processing in the subsequent stages of the pellet formation and hardening of pellets. The water contained in the raw pellet is withdrawn at the stage of thermal processing. For this purpose, the literature indicates the demand of 600 Kcal/kg of water for the heating and vaporization of the moisture of raw pellets. The statistical analysis of the performance data of a pelletizing plant showed that for each decrement of 0.1% of water in the retained pulp is equivalent to the reduction of 0.091 Nm³ in the consumption of natural gas per tonne of pellets produced. Thus, the proper performance of the filtration stage is essential to reduce the percentage of pulp moisture retained and consequently to increase the energy efficiency of the pelletizing furnaces. The aim of this article is to present the main steps in conducting a work to increase the filtration performance to reduce the percentage of retained pulp moisture and the positive impacts on the specific natural gas consumption of a plant Pelletizing.

Keywords: Moisture percentage; Filtering; Natural gas consumption

¹ Engenheiro Metalurgista e de Materiais, Engenheiro, Gerência de Planta Usinas 5 a 7 Pelotização, VALE, Vitória, Espírito Santo, Brasil

² Engenheiro Metalurgista, Engenheiro, Unidade Técnica Pelotização, VALE, Vitória, Espírito Santo, Brasil

1 INTRODUÇÃO

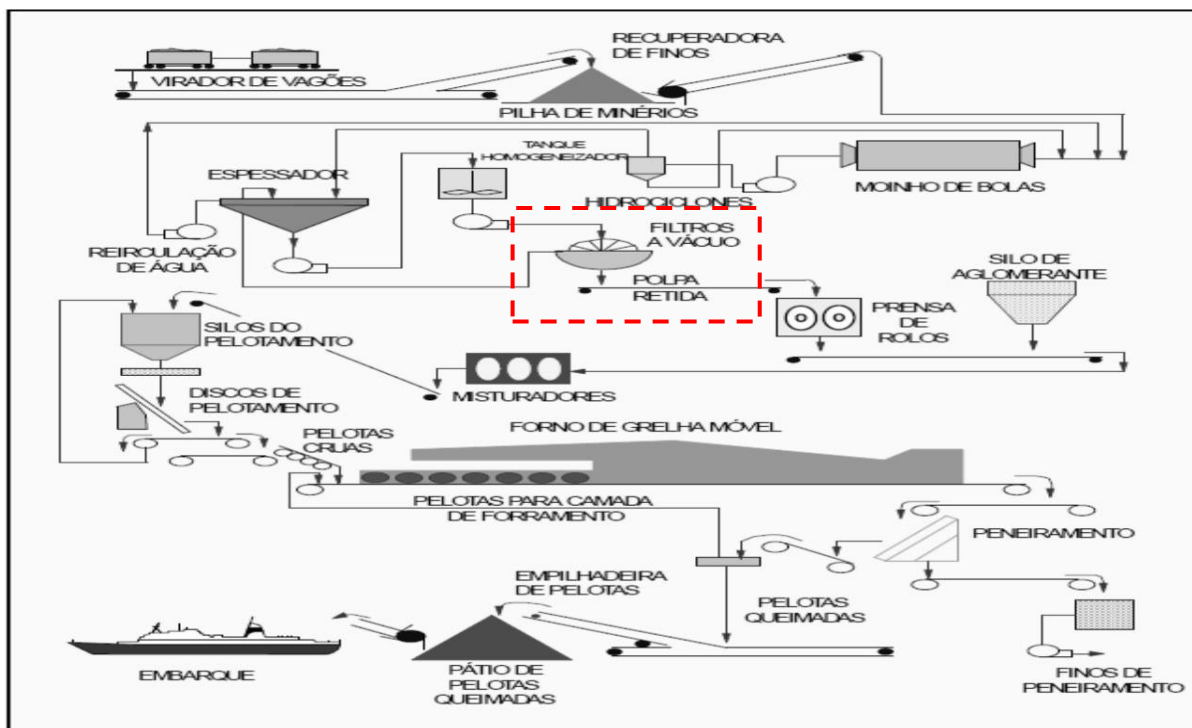
Na produção de pelotas de minério de ferro, um dos fatores que influenciam fortemente no custo de transformação minério-pelota é o consumo específico de gás natural que ocorre durante a etapa de processamento térmico das pelotas.

O processo de filtragem é a etapa onde ocorre a adequação do percentual de umidade da polpa retida, para que posteriormente haja o processamento nas etapas subsequentes do pelletamento e endurecimento de pelotas.

O objetivo deste trabalho é a redução do percentual de umidade da polpa retida, através do estudo das variáveis que influenciam no processo e implementação de rotinas que suportem a mudança de patamar na performance da Filtragem, impactando na redução do consumo específico de gás natural.

1.1 – O processo de fabricação de pelotas

O fluxo básico de processo de pelletização está descrito na figura abaixo, do virador de vagões ao embarque de pelotas:



Fonte: VALE, 2014

Figura 1 - Fluxo do processo de pelletização

Dentre as variáveis críticas do processo de Pelotização iremos destacar o controle da Umidade da polpa retida [%H₂O]. Neste artigo, não está sendo levado em consideração as características mineralógicas da matéria-prima da planta de pelletização.

A etapa de Filtragem será detalhada no próximo tópico para entendimento das principais variáveis que atuam neste processo.

1.2 – Filtragem

A teoria clássica de filtragem considera, como ponto de partida, o fluxo de líquido através do meio poroso (ou torta) não compressível, descrito por uma relação empírica conhecida como “Lei de Darcy” expressa na equação (Valadão, 1996):

$$Q = \frac{K \cdot \Delta P \cdot A}{\mu \cdot L} = \frac{\Delta P \cdot A}{\mu \cdot R}$$

Fluxo em meio poroso
Torta não compressível
Regime laminar

Q = Fluxo do filtrado;
A = Área filtrante;
K = Coeficiente de filtração (permeabilidade do leito);
 ΔP = Diferencial de pressão através da torta e do meio filtrante;
 μ = Viscosidade do filtrado;
L = Espessura do leito (torta);
R = L/K = Resistência ao fluxo.

A etapa de filtragem no processo de pelletização tem por objetivo adequar o teor de umidade do *pellet feed* moído às necessidades das etapas subsequentes de pelletamento e tratamento térmico em forno de grelha.

Na usina de pelletização em questão, a operação de filtragem é realizada por meio de filtros de disco à vácuo.

De acordo com Sutheland (2008), o princípio de construção de um filtro a disco a vácuo se define pela montagem de discos paralelos sobre o eixo horizontal.

Cada um desses discos é constituído por setores substituíveis, e estes são encamisados por tecidos filtrantes.

A desaguagem inicia-se quando os discos são rotacionados e os setores submersos na bacia são submetidos ao vácuo ($0,75\text{kgf/cm}^2$). Nesse momento, o filtrado começa a passar pelo meio filtrante e uma camada de minério começa a ser depositada sobre o tecido. Essa etapa é chamada de formação da torta.

Ao sair da bacia, essa torta depositada sob a ação do vácuo começa a perder umidade na etapa de secagem. Por fim, o tecido recebe injeção interna de ar comprimido ($1,25\text{kgf/cm}^2$), que infla o tecido e promove o descarregamento da torta. A torta obtida com esse processo é então direcionada para um sistema de correias para transporte.



Fonte: Acervo Técnico Vale

Figura 2 - Filtros de disco à vácuo

1.3 – Variáveis de entrada e variáveis de saída

1.3.1 Variáveis de entrada

Densidade da polpa homogeneizada:

A densidade é a razão entre a massa de uma substância e o seu volume (Atkins e Jones, 2001).

No caso específico de Filtragem de polpas de minério de Ferro é a variável de maior impacto sobre o fluxo de filtrado (**Q**), da “Lei de Darcy”

Quanto maior a densidade da polpa (**μ**) menor o fluxo (**Q**)

Tamanho dos grãos e área superficial:

O tamanho dos grãos interfere diretamente no fluxo de filtrado (**Q**)

Ou seja, quanto maior o tamanho dos grãos de sólidos contidos na polpa, maior será o fluxo de filtrado **Q**.

A área superficial dos grãos atua de forma inversamente proporcional ao fluxo de filtrado. Significa dizer que, quanto maior a área superficial do grão, menor será o fluxo de filtrado, devido a menor permeabilidade (**K**) do leito.

1.3.2 Variáveis de saída

Percentual de umidade da polpa retida (%)

Corresponde ao percentual de água na polpa retida após processo de filtragem.

Este percentual é determinado em ensaio físico pela diferença entre a *massa da amostra de polpa retida coletada* e a *massa após a amostra ter sido submetida à processo de aquecimento em estufa para evaporação da água*.

Os testes de umidade são realizados pela equipe do laboratório físico das Usinas e os resultados são obtidos pela consulta em Boletim de Qualidade de Insumos (BQI), na frequência de 04 x 04 horas.

Para efeito desse estudo utilizamos dados de médias diárias (%)

Esta variável é de extrema importância para o controle de qualidade física das pelotas como também para a redução do consumo específico de gás natural.

Produtividade horária (t/m².h)

A relação entre a **massa produzida** durante período de 01 hora e a **área filtrante** total do filtro expressa a produtividade horária.

Quanto maior o fluxo de filtrado **Q** por unidade de tempo, maior será a produtividade do filtro.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho baseia-se em observações, análise e solução de problemas realizados durante a aplicação da metodologia Seis Sigma no processo de Filtragem de discos à vácuo.

Durante o período de observação do indicador, entre 20.08.2017 e 31.07.2018 verificou-se a elevação de patamar, sobretudo no período 02 (entre 01.04.2018 e 31.07.2018), performando em média 9,03% (*meta*: ≤ 9,00%)

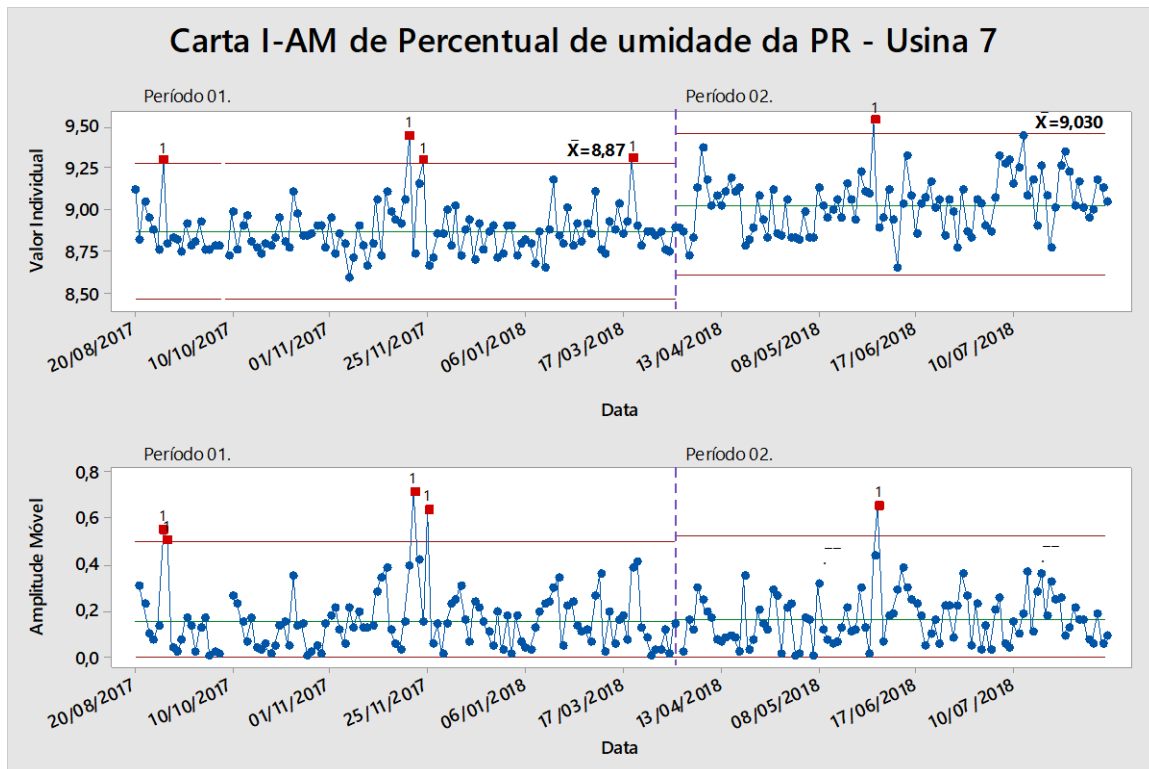


Figura 3 - Evolução do indicador no período referência

Estatísticas Descritivas: Umidade da PR (%) - Período 02

Estatísticas										
Variável	Contagem			Média	EP Média	DesvPad	Mínimo	Q1		
	Total	N	N*							
Umidade da PR (%) - Período 02	211	92	119	9,0304	0,0178	0,1706	8,6483	8,9125		
Variável	Mediana	Q3	Máximo	Amplitude						
Umidade da PR (%) - Período 02	9,0192	9,1638	9,5200	0,8717						

Tabela 1 - Estatísticas descritivas do período 02

A meta de redução de umidade da polpa retida foi estabelecida pelo método dos Quartis, onde o objetivo estabelecido foi alcançar média diária igual ou menor que 8,91%, valor equivalente ao primeiro Quartil da amostra de dados do período 02. Ou seja, reduzir 0,12 p.p na umidade da polpa retida até 31/05/2019

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Análise de Fenômeno

Os dados do percentual de umidade do período 02 foram estratificados por *equipes de operação* e por *filtro* de disco à vácuo, com análise sobre a umidade da PR e desvio padrão.

Na comparação da Análise de Capacidade entre equipes de operação, verificamos que a equipe A1 apresentou menor percentual defeituoso (49,23%), sendo que as demais (equipes A2; B1 e B2) apresentaram valores mais elevados, na ordem de 71,78%, 73,96% e 70,64% respectivamente.

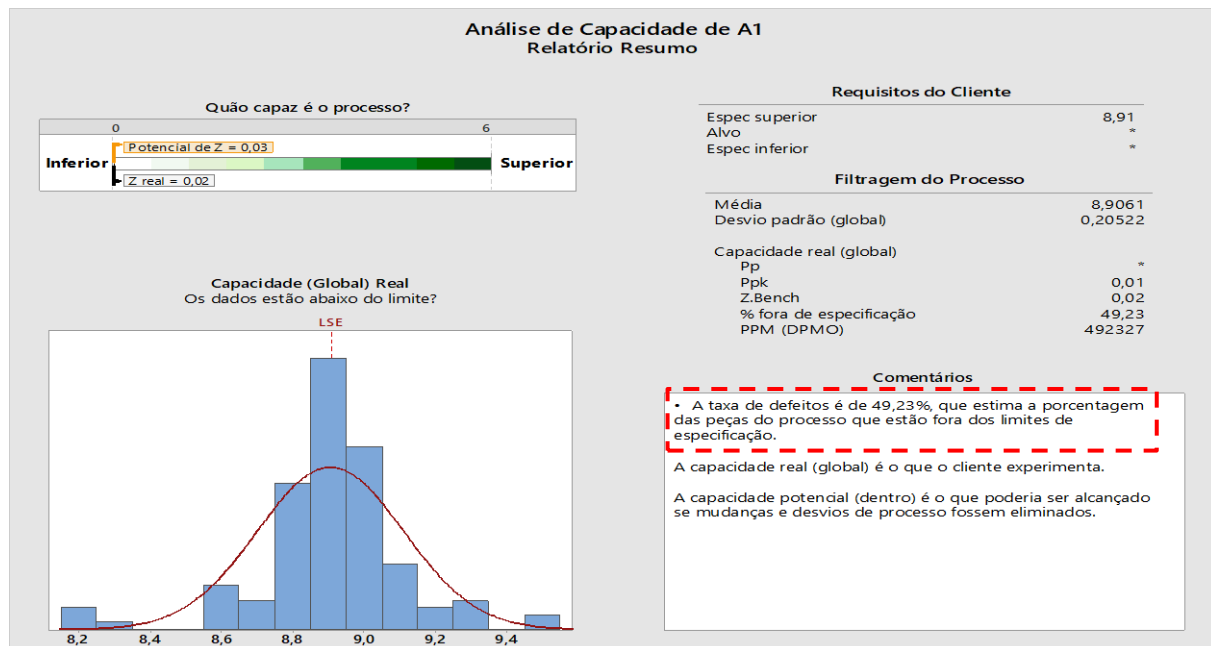


Figura 4 - Análise de Capacidade – Equipe A1

Pela significância dos dados, o estrato foi considerado relevante no estudo para redução da Umidade da polpa retida (%).

A partir dessa análise, foi criada a métrica para comparação entre resultados de umidade das equipes de operação, como segue abaixo:

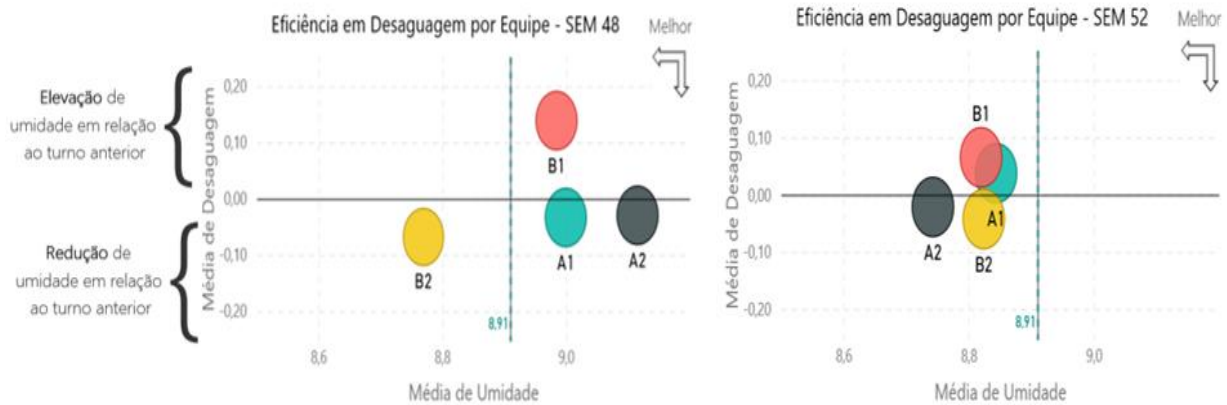
Indicador: Eficiência em Desaguamento (foco: Equipes de operação)

Eixo x:

O gráfico de dispersão tipo bolhas dispõe semanalmente cada equipe na escala numérica em relação ao desempenho apresentado no indicador umidade da PR;

Eixo y:

Dispõe as equipes de operação na escala numérica proporcionalmente ao desempenho que apresentaram. Ou seja, os incrementos ou decrementos médios de umidade de cada equipe definem a posição da bolha nesse eixo.



Na análise de performance dos filtros, buscou-se dispor os resultados de umidade e produtividade de cada filtro em relação à quantidade de horas em operação (horímetro pós-preventiva mecânica)



Obs: Tamanho da bolha representa a produtividade ($t/m^2.h$) medida quando o tempo de vida útil dos tecidos atingiu 500 horas.

Figura 6 - Comparação da Eficiência em desaguamento – foco: Filtros

Esse comparativo evidenciou os diferentes desempenhos em desaguamento que cada um desses equipamentos possui. Nessa análise, o tempo(h) de operação à que estão submetidos revelou diferentes performances e sendo portanto relevantes no estudo para entendimento de como esta variável se relaciona com a Umidade da polpa retida (%).

Indicador: Eficiência em Desaguamento (foco: Filtros)

Eixo x:

Dispõe cada filtro na escala numérica em relação ao total de horas em operação, e evidencia o limite de 7500 horas para realização de parada preventiva.

Eixo y:

Dispõe cada filtro na escala numérica em relação ao resultado de umidade média apresentado pelo equipamento

3.1 - Análise de Processo

Padronização

Através de comparações entre desempenho em desaguamento das equipes e auditorias em procedimentos foi comprovado a necessidade de atualização de procedimentos e criação de instruções de trabalho para novas atividades incorporadas à rotina operacional.

Nesse contexto foi criado um direcionador para análise e atuação em casos de desvio à meta de umidade filtro a filtro (OCAP):

Fluxo padrão de análise e atuação para desvios de umidade da polpa retida

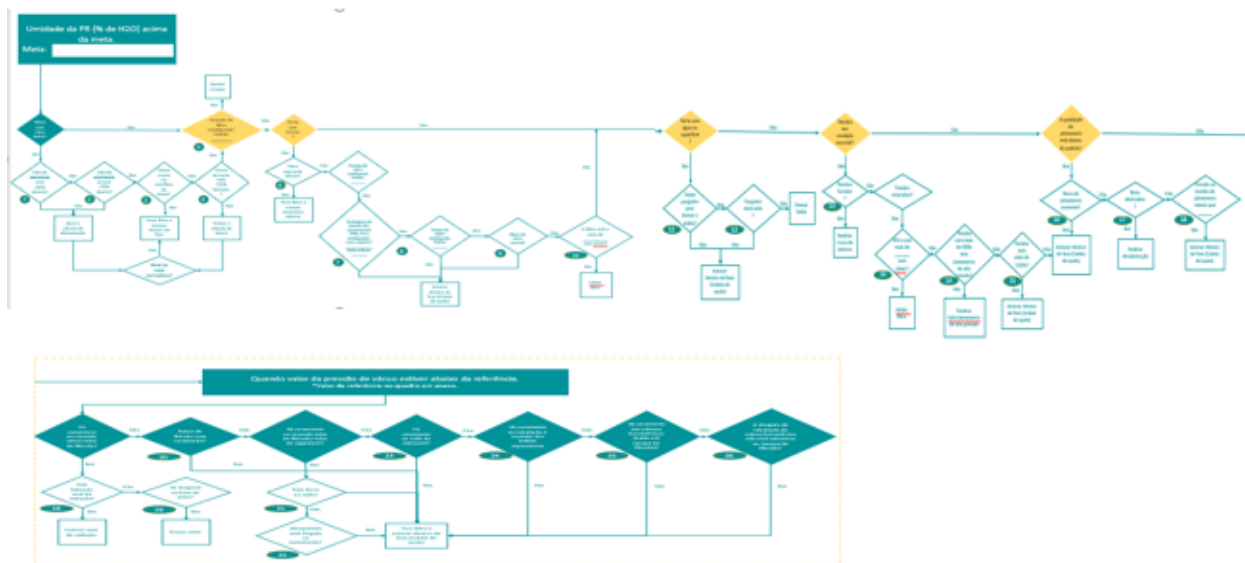


Figura 7 – OCAP

O fluxo decisório é utilizado na rotina diária para diagnóstico da causa do desvio de umidade do filtro quando o valor medido está acima da meta (8,91%)

A OCAP de umidade da polpa retida possui 34 pontos de verificação, e está disponível tanto no quadro de gestão da sala de operação da Filtragem, como também no sistema de padronização da empresa, como anexo do procedimento operacional

Rotina de aferição da Umidade filtro a filtro

A rotina, medição de umidade filtro a filtro, foi implementada com o objetivo de possibilitar ao operador identificar quais filtros estão contribuindo para elevação da umidade no resultado global e assim atuar diretamente na causa.

O ensaio é realizado diariamente pelo operador, utilizando balança de precisão específica para a atividade.

Quando o resultado de umidade da amostra se apresenta maior que a meta (8,91%) o operador inicia a investigação da causa utilizando o fluxo decisório. (OCAP)



Figura 8 – Bancada para medição de umidade

Determinação do Tempo de Ciclo Operacional dos tecidos filtrantes (TCO)

O tempo de ciclo operacional dos tecidos filtrantes foi objeto de estudo para identificação do tempo ideal de substituição total dos tecidos (troca programada), de forma a maximizar a produtividade e minimizar os eventos de troca de tecidos furados (troca corretiva)

Conforme a figura, a região em destaque possui a menor produtividade e maior incidência de furos, logo foi reduzido o TCO dos tecidos filtrantes de 1050 para 700 horas.

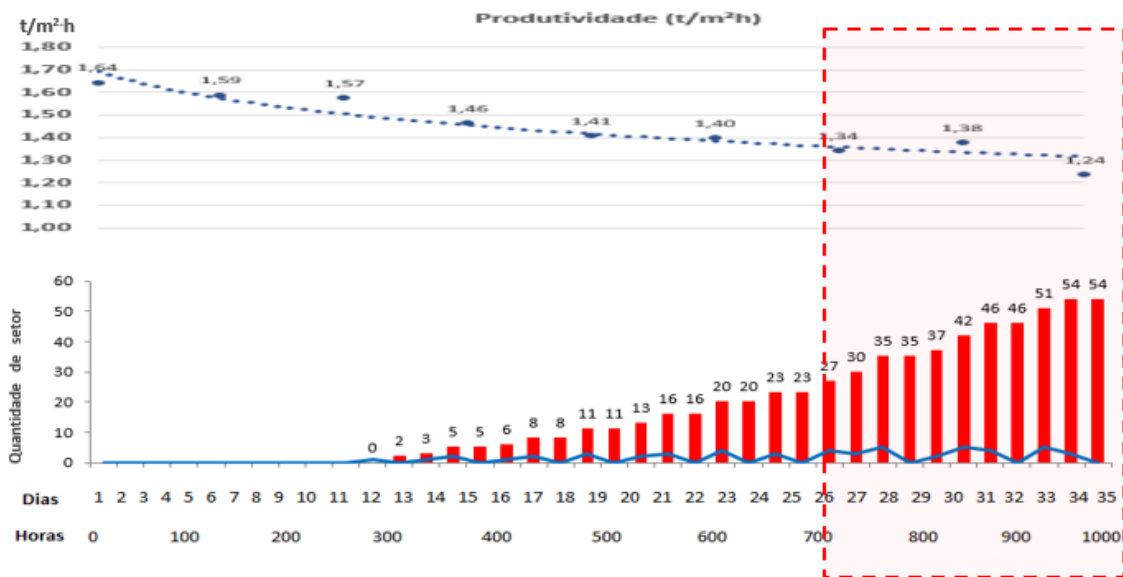


Figura 09 – Determinação do TCO

Com essa redução no TCO, foi possível, conforme Plano de Experimento Industrial realizado no filtro 7F2L (figura 09) reduzir em 57% a quantidade de troca de setores furados durante a campanha de operação dos tecidos.

Determinação da Produtividade Filtro a Filtro

Foi implementado rotina de medição de produtividade filtro a filtro, com o objetivo de conhecer a produtividade de cada filtro e identificar performances abaixo do esperado, possibilitando ao operador investigar a causa da baixa produtividade de forma direcionada.



Figura 10 – Produtividade Filtro a Filtro

Elevação da qualidade do jateamento

- Intertravamento do funcionamento do filtro com o tempo máximo entre jateamentos (12 horas)
- Instalação de filtro com malhas para retenção de sólidos na tubulação de água de jateamento da filtragem.
- Instalação de ar comprimido nos manifolds dos tubos de jateamento dos filtros para elevação de pressão da água e redução da ocorrência de obstrução dos bicos.



Figura 12 – Filtro de malha 1,0 mm e instalação de ar comprimido no jateamento

Gestão da Rotina Operacional

- Revisão de procedimentos e elaboração de Instruções de Trabalho direcionadas às operações que impactam no desempenho das equipes em relação à umidade da polpa retida;
- Implementação de Gestão visual para check das rotinas de jateamento, desobstrução dos bicos, coleta de densidade e teste de umidade filtro a filtro.
- Report semanal das performances em desaguamento das equipes de operação e filtros de disco à vácuo.

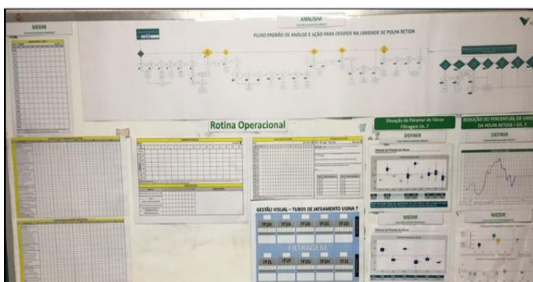


Figura 13 – Gestão visual

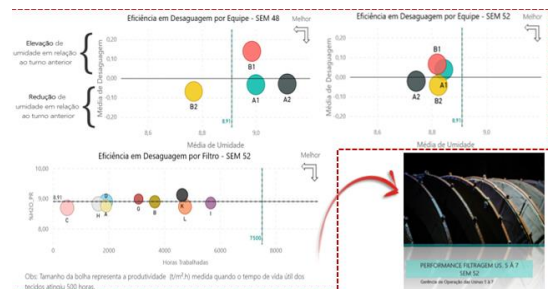


Figura 14 – Report semanal

4 CONCLUSÃO

Durante período de verificação de resultados do projeto (meses de fev/19 ; mar/19 e abr/19) a média de umidade da polpa retida foi deslocada para 8,79%, portanto abaixo da meta estipulada de 8,91%.

Conforme literatura, a eficiência térmica do forno de grelha aumentou em função da redução de consumo de gás natural, na razão de 0,091Nm³/t para cada 0,1% de umidade reduzido.

Obs: No gráfico abaixo, a oscilação da meta de umidade a partir do mês de jan/19 se deve ao ajuste da meta original do projeto (8,91%) ao PPC dos lotes de minério processados em 2019. Dentre as premissas para aferição do ganhos do projeto, equacionamos previamente o efeito da oscilação do PPC (perda por calcinação) sobre a umidade, possibilitando mensurar impacto dessa variável sobre o indicador.

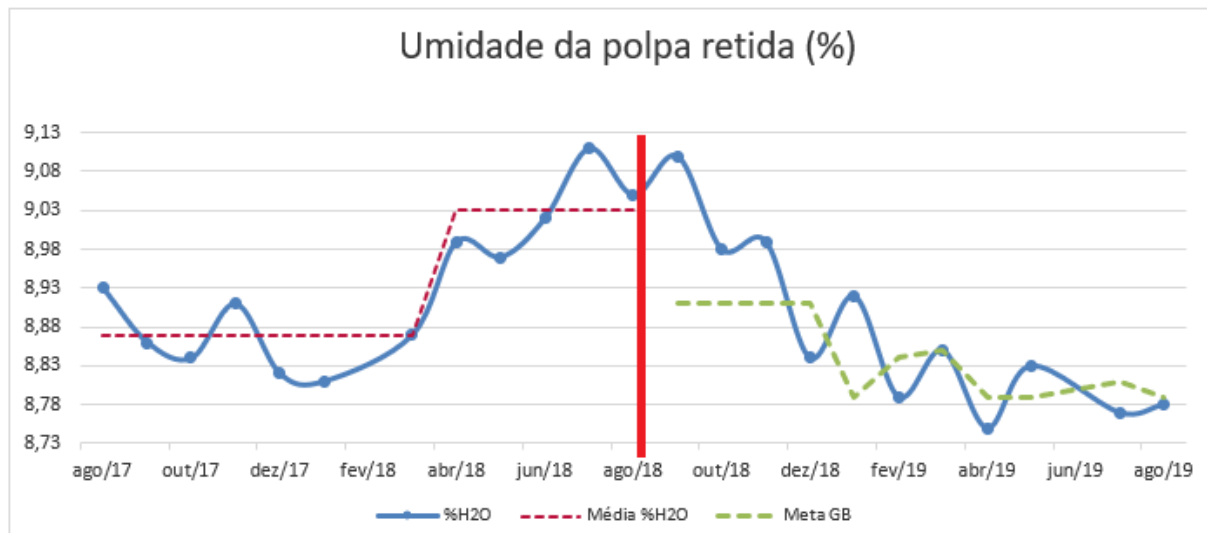


Figura 15 - Gráfico da evolução do indicador Umidade da polpa retida (%)

REFERÊNCIAS

- 1 MEYER, K. Pelletizing of Iron Ores; Springer. Verlag Berlin. Heidelberg, and Verlag Stahleissen mbH, Düsseldorf, Germany, 1980.
- 2 VALE. Guia Vale Começar. Vitória, 2014.
- 3 SUTHELLAND, K. Filters and Filtration Handbook. Elsevier, 2008.
- 4 ATKINS, P.W.; JONES, Loretta. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- 5 VALADÃO, G.E.S. Desenvolvimento de modelo matemático empírico para a simulação da filtragem de “pellet feed” de minério de ferro. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1996. (Dissertação de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, 155p.)
- 6 ECAT, Manuais e procedimentos operacionais. Vitória
- 7 Acervo Técnico Vale 2008