

SUBSTITUIÇÃO DO QUEIMADOR DA PLANTA DE PULVERIZAÇÃO DE CARVÃO*

Felipe Clemente Motta Teixeira¹
Fernando Maia de Faria²
Marcelo Ito³
Martin Ignacio Ruiz⁴
Rodrigo de Pádua Arantes⁵

Resumo

Este artigo pretende apresentar a solução adotada para aumentar a disponibilidade da planta de moagem de carvão em 6,6% na unidade Barro Alto, membro do grupo Anglo American Brasil, substituindo o combustível utilizado no Gerador de Gás Quente (GGQ), com ganhos de R\$ 161.000,00 por mês. Motivado pelas complicações técnicas envolvidas no uso de óleo combustível pesado, como a baixa confiabilidade do arranque do GGQ, falhas constantes no ignitor, baixa eficiência de queima, alta geração de CO, incrustações de cinzas a jusante do equipamento, além dos impactos frequentes na estabilidade do perfil térmico dos fornos rotativos devido à falta de carvão pulverizado para os queimadores, aos riscos de segurança associados aos procedimentos de limpeza das cinzas e à redução no tempo de vida dos componentes periféricos como refratários, mangas do filtro e instrumentos. No final do estudo, a aplicação de um novo queimador de GLP levou aos resultados mais rentáveis.

Palavras-chave: Moagem de Carvão; Disponibilidade Física; Gerador de Gases Quentes; Combustão.

REPLACEMENT OF THE COAL PULVERIZATION PLANT BURNER

Abstract

This article intend to present the adopted solution to increase the coal milling plant availability by 6.6% at Barro Alto unit, a member of Anglo American Brazil group, by replacing the fuel used in the Hot Gas Generator (HGG), providing gains of R\$ 161.000,00 per month. Motivated by the technical complications involved in the use of heavy fuel oil such as low reliability of the HGG start up, constant failures in the ignitor, low burning efficiency and high CO generation, ashes incrustation downstream of the equipment, besides the frequent impacts on the stability of the thermal profile of the RK's due to the lack of pulverized coal for the burners, the safety risks associated with the cleaning procedures of the ashes and the life time reduction of the peripheral components like refractories, filter sleeves and instruments. At the end of the study the application of a new burner firing LPG led to the most cost-effective results.

Keywords: Coal milling; Availability; Hot Gas Generation; Combustion.

¹ Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Bacharel, Engenheiro de Produção Sênior, Departamento de Produção, Anglo American, Barro Alto, Goiás, Brasil.

² Engenharia Metalúrgica, Bacharel, Engenheiro de Processos, Departamento de Processo, Anglo American, Barro Alto, Goiás, Brasil.

³ Engenharia Mecânica, Bacharel, Coordenador de Projetos, Engenharia de Manutenção, Anglo American, Barro Alto, Goiás, Brasil.

⁴ Engenharia Química, Mestre, Coordenador de Produção, Departamento de Produção, Anglo American, Barro Alto, Goiás, Brasil.

⁵ Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Bacharel, Coordenador de Processos, Departamento de Processo, Anglo American, Barro Alto, Goiás, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A planta industrial de produção de Ferroníquel do grupo Anglo American Brasil situada em Barro Alto/GO emprega a rota piro metalúrgica, RK/EF, para concentração e obtenção da liga metálica com 30% de níquel contido. Com sua primeira produção datada de abril de 2011, este processo empregou apenas o óleo combustível pesado 1A nos maçaricos dos fornos rotativos (secadores e calcinadores), até que em dezembro de 2014 a planta de moagem de carvão mineral foi implantada para a produção de combustível sólido, como alternativa de baixo custo para esta operação. A planta de moagem de carvão possui capacidade nominal de 46 t/h e é provida de um gerador de gases quentes para aporte térmico para a secagem do carvão, sendo que o combustível utilizado até janeiro de 2017 foi o óleo 1A, cuja queima sempre gerou elevada geração de resíduos pelo sistema, tanto no seu conjunto queimador e ignitor, como também na própria câmara de combustão e tubulações a jusante desta etapa.

A utilização da Planta de Moagem era afetada devido as tentativas sem sucesso de ignição e por manutenções corretivas, devida a presença dos resíduos espalhados pelos demais equipamentos da instalação. O projeto consistiu em substituir o queimador e instalação de infraestrutura necessária para o novo equipamento, onde a queima de óleo 1A foi substituída integralmente por gás liquefeito de petróleo, GLP, com ótimos resultados.

Para definição da estratégia de solução foi realizada uma análise profunda dos principais tipos de problemas ou intervenções da equipe de Manutenção Industrial utilizando a metodologia Lean Six Sigma.

2 PRINCIPAIS PROBLEMAS DAS INSTALAÇÕES EXISTENTES

Ao iniciar as operações da pulverização de carvão foram verificadas várias ocorrências ligadas a esse combustível que levavam a paradas da pulverização e também devido a riscos operacionais. Os fatores mais relevantes foram a formação de borra oleosa no GGQ e proximidades, que levavam a planta a trabalhar com níveis de CO mais elevados e que em casos de parada, quando o oxigênio atingia o valor ambiente ocorria a queima do óleo, levando a problemas com válvulas, analisador de gases e refratários. Outros itens que impactaram o bom andamento do processo com a utilização de óleo foi a ocorrência de perdas de chama e problemas no ignitor, causados principalmente pela necessidade de se retirar o ignitor do gerador de gás quente para limpezas, e também devido ao retorno de óleo no mesmo. Segue abaixo fotos referentes aos problemas ocorridos no GGQ devido ao óleo.



Figura 1: Danos no refratário do topo do gerador de gás quente.



Figura 2: Danos na tubulação posterior ao Gerador de gás quente.



Figura 3: Acúmulo de borra oleosa nas tubulações após o Gerador de Gás Quente.



Figura 4: Acúmulo de óleo no Ignitor do GGQ.

Para analisar as paradas, a pulverização de carvão foi separada em 4 subáreas: Sistema de alimentação de carvão, Moinho de carvão, filtro de mangas e Gerador de Gás Quente. Além destas, foram consideradas também paradas por falta de energia, falhas do sistema de inertização e paradas programadas.

Paradas devido a ocorrências em áreas posteriores à pulverização de carvão não foram consideradas. A Tabela 1 a seguir apresenta as horas paradas, no período de 01/12/15 a 14/09/16, quando houve a parada da planta para reforma, momento em

que foi realizada a substituição do sistema de combustível do gerador de gás quente de óleo 1A para GLP.

Tabela 1: Paradas (01/10/15 a 14/09/16)

Subárea / Motivo	Horas	%	hrs./dia	U.E.%*
Parada Programada	572	31,7	2,0	8,3
Filtro de Mangas	520	28,8	1,8	7,5
Gerador de Gás Quente	375	20,8	1,3	5,4
Moinho de Carvão	215	11,9	0,7	3,1
Sistema de Alimentação do Moinho	60	3,3	0,2	0,9
Sistema de Inertização	48	2,7	0,2	0,7
Sem energia	12	0,7	0,0	0,2
TOTAL	1802	100	6,3	26,1

U.E.%* - Impacto do item na utilização efetiva.

A Figura 5 abaixo indica os principais itens que levaram a paradas da pulverização de carvão devido ao gerador de gás quente antes da Substituição do Queimador no GGQ.

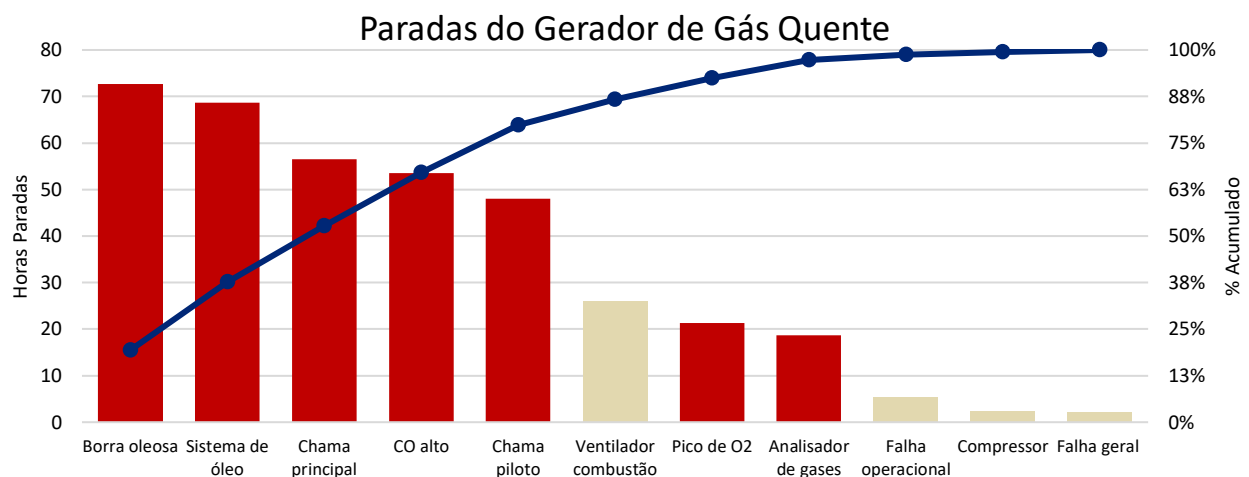


Figura 5: Causas de Paradas no GGQ – Antes da implantação do Projeto.

A Figura 5 mostra que a maioria das paradas do gerador de gás quente tem ligação com o óleo 1A, representadas por barras destacadas em vermelho. Essas paradas representam 327 horas no período em análise, ou uma média de 1:08hs por dia, cujo impacto representa 5,4% da Utilização Efetiva do período. Vale destacar que as preventivas tinham grande foco na limpeza de tubulações que apresentavam borra oleosa, mas estes dados não serão considerados neste trabalho.

A substituição do óleo 1A por GLP ocorreu na reforma que ocorreu na pulverização entre set/16 a jan/17. Na Tabela 2 serão apresentados os principais motivos de paradas no período de 01/02/17 a 30/04/17.

Tabela 2: Paradas (01/02/17 a 30/04/17)

Subárea / Motivo	Horas	%	hrs./dia	U.E.%*
Parada Programada	145,7	54,8	1,6	6,8
Sistema de Alimentação do Moinho	51,6	19,4	0,6	2,4
Moinho de Carvão	37,8	14,2	0,4	1,8
Gerador de Gás Quente	10,6	4,0	0,1	0,5
Sistema de Inertização	8,5	3,2	0,1	0,4
Filtro de Mangas	7,6	2,9	0,1	0,4
Sem energia	4,2	1,6	0,0	0,2
TOTAL	145,7	54,8	1,6	12,5

U.E.%* - Impacto do item na utilização efetiva.

A Figura 6 abaixo indica os principais itens que levaram a paradas da pulverização de carvão devido ao gerador de gás quente após a Substituição do Queimador no GGQ.

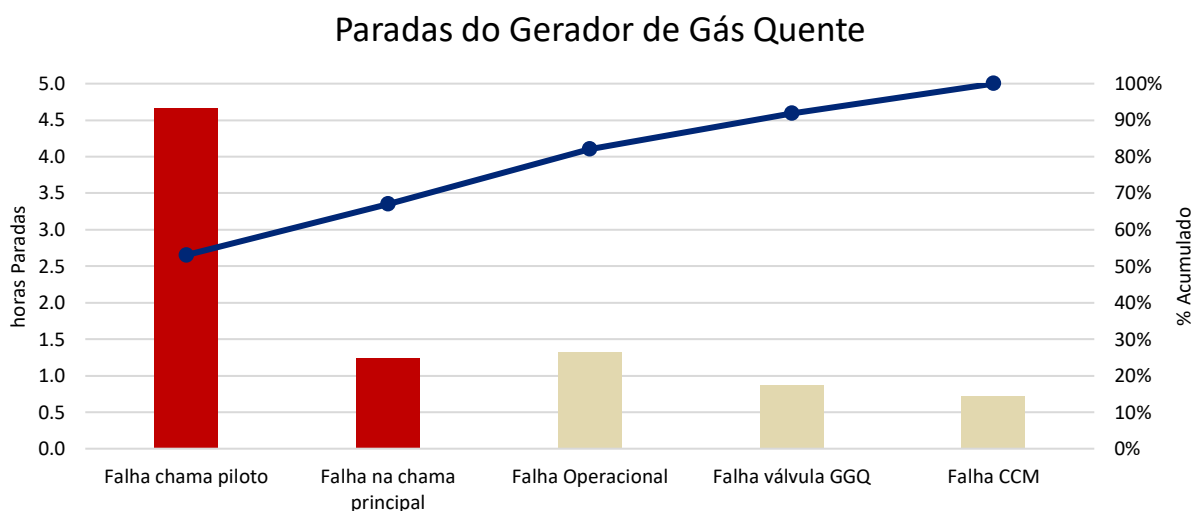


Figura 6: Causas de Paradas no GGQ – Após da implantação do Projeto.

Na Figura 6 verifica-se uma redução considerável nas paradas por itens ligados ao combustível do gerador de gás quente.

Ao comparar os dados antes e após a substituição do combustível verifica-se que parada do GGQ que impactavam 5,4% da Utilização efetiva passaram para o patamar de 0,5%, o que representa um ganho de 4,9% ou uma disponibilidade a maior de 35 ton/dia de carvão pulverizado. Este ganho verificado será relevante no cálculo dos indicadores financeiros do projeto.

3 RESULTADOS FINANCEIROS DO PROJETO

Os cálculos dos indicadores econômico-financeiros consideram como principais parcelas na composição dos custos específicos do projeto os seguintes insumos: Carvão Mineral, Óleo 1A e Nitrogênio. Outro fator que influencia diretamente na composição de custos é a Utilização Efetiva da Planta de Pulverização de Carvão.

Como hipóteses simplificadoras assumem-se:

- Todo o produto gerado com o incremento de Utilização Efetiva será imediatamente consumido. A simplificação neste caso desconsidera o volume

do silo de produto acabado, mas no longo prazo esta simplificação não impacta no resultado.

- A substituição do combustível nos consumidores (Calcinadores e Secadores) será assumida da forma degrau. Na condição real acontece na forma de rampa, mas no longo prazo o impacto é mínimo e quanto maior a Utilização Efetiva da Pulverização menor o impacto.
- No presente estudo serão considerados constantes os custos de energia elétrica e custos de manutenção (mão de obra e sobressalentes). Desta forma, estes custos se mantem antes e depois do projeto, não impactando no payback do projeto.

3.1. Variação nos custos devida a substituição dos insumos

O projeto consiste em substituir integralmente o combustível de Óleo 1A por GLP. O cálculo é realizado considerando as referências de orçamento do custo operacional da unidade. Na Tabela 3 encontra-se os valores assumidos para os parâmetros de cálculo.

Tabela 3: Parâmetros de Cálculo de Custo de Insumos

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade de Medida	Observação
Consumo Específico de Óleo 1A no GGQ	$\gamma_{\text{Óleo}}$	13,35	kg óleo/t carvão grosso	Referência anos anteriores
PCI Óleo 1A	$PCI_{\text{Óleo}}$	9647	kcal/kg	-
PCI GLP	PCI_{GLP}	11295	kcal/kg	-
Consumo de Carvão (Estimado ano 2017).	m_{seco}	190988	dton (toneladas secas) de carvão	Orçamento 2017
Umidade do Carvão	$\phi_{\text{Carvão}}$	12,5	%H ₂ O	-

Cálculo do consumo específico de GLP:

$$\gamma_{\text{GLP}} = \frac{\gamma_{\text{Óleo}} \cdot PCI_{\text{Óleo}}}{PCI_{\text{GLP}}} = \frac{13,35 \cdot 9647}{11295} = 11,40 \text{ kg GLP} / \text{t carvão} \quad (1)$$

Cálculo do consumo de carvão, conforme demanda orçada para o ano de 2017:

$$m_{\text{úmido}} = m_{\text{seco}} \cdot (1 + \phi_{\text{Carvão}}) = 190988 \cdot (1 + 0,125) = 214861,2 \text{ t de carvão} \quad (2)$$

Consumo evitado de Óleo 1A para o ano de 2017:

$$M_{\text{Óleo}} = \gamma_{\text{Óleo}} \cdot m_{\text{úmido}} = 13,35 \cdot 214861,2 = 2867852,1 \text{ kg Óleo} = 2868 \text{ t Óleo} \quad (3)$$

Consumo estimado de GLP para o ano de 2017:

$$M_{\text{GLP}} = \gamma_{\text{GLP}} \cdot m_{\text{úmido}} = 11,40 \cdot 214861,2 = 2449417,4 \text{ kg GLP} = 2449 \text{ t GLP} \quad (4)$$

Considerando custos dos insumos: $C_{\text{GLP}} = \text{R\$ } 2,59 / \text{kg GLP}$ e $C_{\text{Óleo}} = \text{R\$ } 1,80 / \text{kg Óleo}$, tem-se o custo anual (referência abril/2017):

$$\begin{aligned} \text{Custo evitado de Óleo} &= \text{R\$ } 5162133,80 = \text{R\$ } 5,2 \text{ milhões} / \text{ano} \\ &= \text{R\$ } 430,2 \text{ mil} / \text{mês} \end{aligned}$$

$$\text{Custo de GLP} = \text{R\$ } 6343991,00 = \text{R\$ } 6,3 \text{ milhões} / \text{ano} = \text{R\$ } 528,7 \text{ mil} / \text{mês}$$

$$Diferença = \text{Custo de GLP} - \text{Custo evitado de Óleo} = R\$ 98,5 \text{ mil} / \text{mês}$$

Assim, a substituição do combustível eleva o custo operacional em aproximadamente R\$ 98,5 mil por mês.

3.2. Variação nos custos de produção devida a variação na Disponibilidade Física da Planta de Pulverização de Carvão

Conforme apresentado na seção 2 do presente documento, a Planta de Pulverização de Carvão tinha Utilização Efetiva de 73,9% antes da substituição do combustível, sendo que aproximadamente 5,4% do impacto na UE eram causados devidos a indisponibilidade do GGQ (Gerador de Gases Quentes) ou causas atribuíveis ao óleo pesado.

Após a implantação do novo queimador no GGQ houve redução no impacto na UE de 5,4% para 0,5%, resultado assim em uma variação na utilização da planta em 4,9% em valores absolutos, ou 6,6% considerando em relação a Utilização Efetiva antes da substituição do insumo.

Tabela 4: Parâmetros de Cálculo Dados de Produção

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade de Medida
Consumo específico de Óleo no Secador (Pulverização Indisponível)	$Osec_{ind}$	11,0	kg de Óleo/TMS
Consumo específico de Óleo no Calcinador (Pulverização Indisponível)	$Ocal_{ind}$	60,0	kg de Óleo/TMS
Consumo específico de Carvão no Secador (Pulverização Indisponível)	$Csec_{ind}$	0	kg de Carvão/TMS
Consumo específico de Carvão no Calcinador (Pulverização Indisponível)	$Ccal_{ind}$	0	kg de Carvão/TMS
Consumo específico de Óleo no Secador (Pulverização Disponível)	$Osec_{disp}$	1,14	kg de Óleo/TMS
Consumo específico de Óleo no Calcinador (Pulverização Disponível)	$Ocal_{disp}$	15,0	kg de Óleo/TMS
Consumo específico de Carvão no Secador (Pulverização Disponível)	$Csec_{disp}$	14,0	kg de Carvão/TMS
Consumo específico de Carvão no Calcinador (Pulverização Disponível)	$Ccal_{disp}$	60,0	kg de Carvão/TMS
Produção de Minério Calcinado (TMS) por dia. (Conforme Orçamento anual de Produção)	TMS	6677	TMS/dia
Custo específico de Carvão	$C_{Carvão}$	0,51	R\$/kg

Custo de Produção considerando a indisponibilidade da Planta de Pulverização de Carvão, simplificando algumas passagens algébricas:

$$\begin{aligned} \text{Custo de Produção (Pulv indisp.)} \\ &= (Osec_{ind} + Ocal_{ind}).TMS.C_{Óleo} - (Csec_{ind} + Ccal_{ind}).TMS.C_{Carvão} \quad (5) \\ &= R\$ 853320,60/dia \end{aligned}$$

Custo de Produção considerando a Disponibilidade Total (DF=100%) da Planta de Pulverização de Carvão, simplificando algumas passagens algébricas:

$$\begin{aligned} \text{Custo de Produção (Pulv Disp.)} \\ &= (Osec_{disp} + Ocal_{disp}).TMS.C_{Óleo} - (Csec_{disp} + Ccal_{disp}).TMS.C_{Carvão} \quad (6) \\ &= R\$ 445970,18/dia \end{aligned}$$

Considerando o incremento diário de 4,9% na utilização efetiva a planta, simplificando algumas passagens algébricas, tem-se a redução nos custos de R\$ 256.115,00 por mês.

Assim a variação, combinando as parcelas nos custos devido a substituição do insumo e o aumento na utilização efetiva da Planta de Pulverização de Carvão, tem-se redução de custos mensal de R\$ 161.115,00.

Desta forma, o payback calculado do projeto é de 5,3 meses de utilização e taxa interna de retorno (TIR) de 14%.

3.3 Ganhos Secundários do Projeto

O projeto de substituição de óleo 1A por GLP na planta de pulverização além dos ganhos resultantes do aumento da disponibilidade e conseqüentemente maior produção de carvão pulverizado traz consigo também otimizações quantos aos seguintes quesitos:

3.3.1 Menores níveis de CO

Com a melhor eficiência de queima do GLP frente ao óleo 1A resulta em grandes benefícios operacionais para a planta de pulverização de carvão e se destacam entre eles a menor geração de CO no sistema, queda de aproximadamente de 90%, e eliminação da formação de borras e resíduos da queima incompleta do óleo 1A, que é uma das principais causas de paradas por picos de CO, acima de 3.000 ppm.

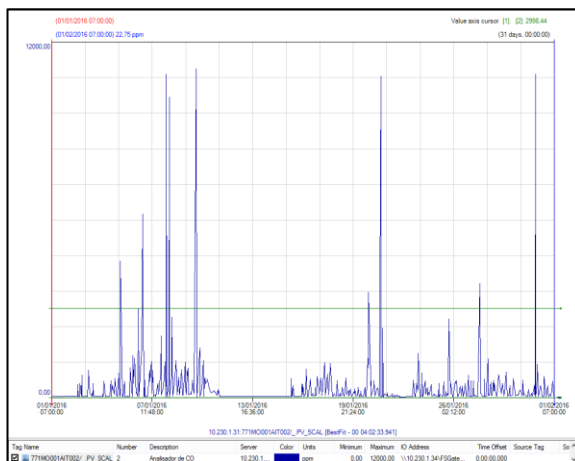


Figura 7: Níveis de CO antes da substituição do queimador. Combustível: Óleo 1A.

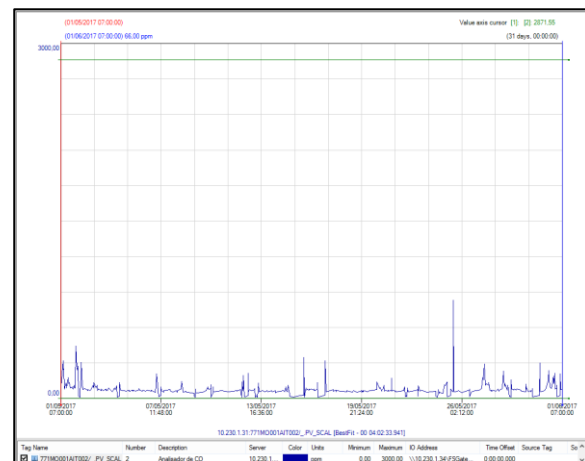


Figura 8: Níveis de CO após a substituição do queimador. Combustível: GLP.

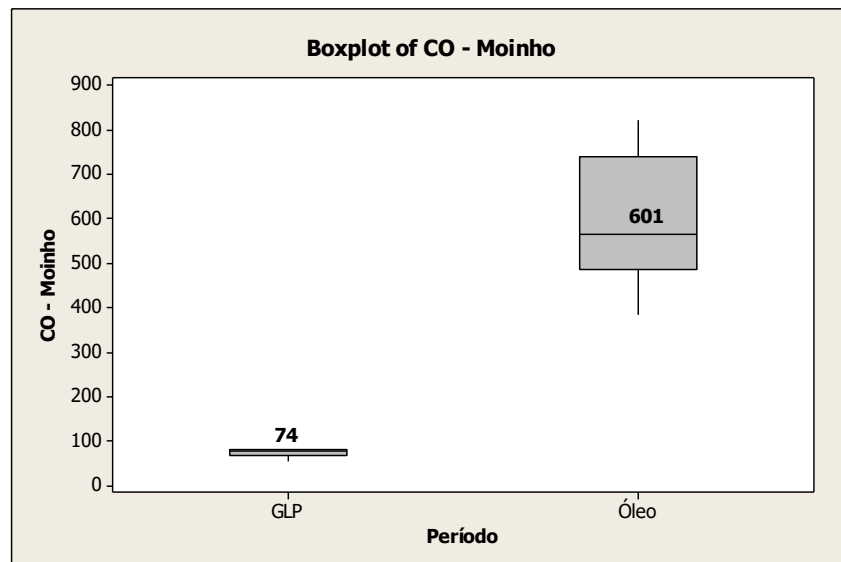


Figura 9: Concentração de CO em ppm antes e depois da substituição de combustível.

3.3.2 Menor n° de partidas e paradas

Os impactos de partidas e paradas da planta de pulverização estão associados diretamente a três importantes aspectos: o consumo de nitrogênio, corrosão e incidentes de autoignição devido às elevações de oxigênio no sistema.

- Partida/Paradas da planta de pulverização requer uma inertização de todo o sistema com nitrogênio, tal procedimento estima-se um consumo de 6.500m³.
- Durante o processo de parada e retomada da operação os níveis de oxigênio na planta ficam por volta de 21% o que é propício para a autoignição/explosões.
- Processos de paradas da planta ocasionam diminuição da temperatura no sistema o que pode ocasionar condensação de vapores corrosivos nas estruturas metálicas internas do sistema.

3.3.3 Preservação da integridade física das mangas do filtro principal

Com a maior estabilidade operacional da planta as temperaturas das estruturas se mantem acima do ponto de orvalho dos gases evitando assim condensações que podem gerar danos às mangas por sulfonação.

3.3.4 Maior estabilidade Operacional dos fornos Calcinadores

Com a maior disponibilidade de carvão pulverizado reduz-se as substituições de combustível nos maçaricos dos fornos calcinadores, que podem trazer consigo impactos como: baixo rendimento da combustão óleo/pulverizado gerando maiores consumos energéticos, perda do perfil térmico dos fornos calcinadores e menor qualidade do minério calcinado (maiores teores de carbono fixo e PF).

3.3.5 Manutenibilidade

- Menor número de equipamentos e instrumento instalados na planta devido a remoção de todo o sistema de bombeamento e aquecimento de óleo 1A;
- Menores reparos e trocas de refratários por trincas e desgastes gerados pelos choques térmicos e altas temperaturas no topo do GGQ.

3.3.6 Operacionalidade

- Maior facilidade operacional e aproveitamento térmico do combustível injetado no sistema (GGQ) pela melhor combustão do GLP.

Ponto de grande atenção pelo fato da planta de pulverização trabalhar com faixas restritas de oxigênio e possuir uma combustão onde a relação ar/combustível adotada possui níveis próximos ao estequiométrico.

3.3.7 Maior Segurança

Menores intervenções para manutenção e limpeza em locais de espaço confinado e com concentrações de gases como CO.

4 ATIVIDADE DE TREPANAÇÃO

Para a instalação do projeto era necessário construir uma nova tubulação de GLP, a qual seria derivada a partir da rede de gás existente e em operação. Para a construção deste novo ramal foi contratada a empresa Ultragaz, fornecedora do insumo na planta industrial.

No planejamento da atividade a contratada solicitou uma parada da rede de gás por 12 horas, entretanto, o sistema não possui válvulas de bloqueio instalada. Há somente uma válvula na saída dos tanques de gases. Desta forma, seria necessário bloquear todas as linhas da usina, o que implicaria em parada total do processo produtivo da unidade. Além disso, seria necessário queimar o gás já distribuído e inertizar todas as linhas com nitrogênio.

Foi sugerido para contratada a aplicação da técnica conhecida como Trepanação, onde seria realizado o tie-in (interligação) da rede com carga, ou seja, a tubulação continuaria com GLP no interior e em operação. Assim, não necessita de parada do processo produtivo, dispensa do GLP e inertização. A Figura 10 apresenta o resumo das atividades realizadas durante a trepanação. A Figura 11 mostra a execução da trepanação na rede de GLP na planta industrial de Barro Alto.

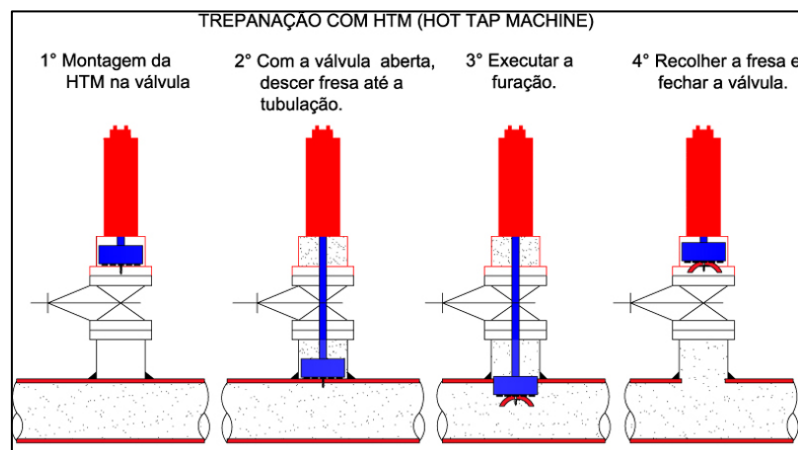


Figura 10: Resumo das etapas da Trepanação (EKIPEC-C, 2017).



Figura 11: Execução da atividade de Trepanação – Furo em carga.

5 PROJETO DE ENGENHARIA

O projeto de engenharia teve com premissa realizar o menor número de intervenções nas estruturas existentes e maximizando o aproveitamento dos equipamentos já em operação. O projeto consistiu na instalação de um novo conjunto queimador (Figura 13) e uma cavalete de controle de combustão (Figura 12). Os ventiladores de ar de combustão e diluição foram aproveitados do sistema existente. O cavalete de controle é composto por válvulas de controle proporcional de GLP, Válvulas de bloqueio e estanqueidade, pressostatos, além de detector de vazamento de GLP.

O sistema de automação possui PLC Safety, com dois núcleos redundantes de processamento, integrado ao sistema de controle geral da Planta de Pulverização.



Figura 12: Cavalete de válvulas e instrumentos.



Figura 13: Fabricação do Conjunto Queimador.

6 COMISSIONAMENTO E TESTES

O sistema foi comissionado durante 5 dias, durante a primeira quinzena de janeiro/17. Foi realizado o ajuste da chama e regulada a quantidade de ar (combustão e diluição) no sistema. Durante o comissionamento foram testados vários sinais de falha e intertravamentos com os demais equipamentos da planta.



Figura 14: Chama do Ignitor.



Figura 15: Conjunto Queimador mostrando as entradas de ar de diluição e combustão.



Figura 16: Conjunto queimador e cavalete do controle montados.

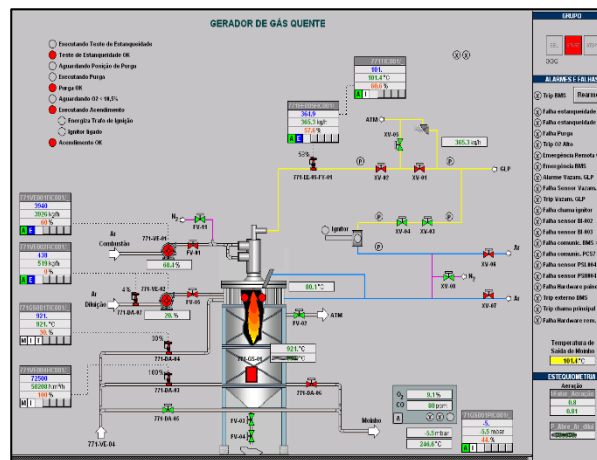


Figura 17: Sistema Supervisório – Controle do GGQ.

7 CONCLUSÃO

Frente ao exposto conclui-se que o projeto para utilização de GLP atingiu seu objetivo de forma plena, uma vez que reduziu significativamente as paradas da planta de moagem de carvão por motivos ligados ao combustível do Gerador de Gases Quentes, proporcionando um aumento de 6,6% na Utilização Efetiva da planta e consequentemente uma maior produção de carvão pulverizado, bem como um excelente resultado financeiro, com redução de custo acima de R\$161.000,00 por mês, com Payback abaixo de 6 meses e, também reduziu o risco das atividades para manutenção do sistema envolvendo espaço confinado.

Dentre os resultados positivos desta solução cabe ressaltar a maior estabilidade do perfil térmico dos fornos rotativos, o aumento da confiabilidade no arranque do GGQ, a melhora na eficiência de queima reduzindo a geração de CO e eliminando as incrustações de borras nas tubulações e periféricos do sistema e um aumento da vida útil dos componentes críticos como refratários e mangas filtrantes.

O projeto também contou com uma solução interessante durante sua implantação que foi a técnica da trepanação, o que evitou uma parada geral da usina de 12 horas, pois viabilizou a tomada de GLP na linha de distribuição com a tubulação em carga.

REFERÊNCIAS

EKIPEC-C. **Hot Tapping**. Disponível em: <<http://ekipe-c-hottapping.com.br/hot-tapping-ou-trepanacao-perfuracao-de-dutos-e-vasos-pressurizados-furos-em-carga/>> Acesso em: 15 mai 2017.

ENGENHARIA E COMÉRCIO LTDA, DYNAMIS. **Queimador a GLP para o Gerador de Gases Quentes da Pulverização de Carvão D-2526-2016-Revisão 4**. Proposta Técnico-Comercial. Abril 2016. São Paulo. 22 p.

ROCHA, LUCIANO FRANÇA. **Controle Preditivo na Otimização de Moinho Secador de Carvão na Indústria de Mineração**. Curitiba. Paraná. Brasil. 2010. 9 p.

SILVA FILHO, TEODORO GOMES DA. **Controle de Temperatura na Saída de Moinho Vertical de Cimento**. Revista Pensar Engenharia. v. 2, n. 1. 2014.

TÉRMICO, PERFIL. **Os Principais Gases Combustíveis utilizados no Brasil para Processamento Térmico**. Disponível em: <<http://www.perfiltermico.com.br/pdc/todos/os-principais-gases-combustiveis-utilizados-no-brasil-para-processamento-termico/>> Acesso em: 12 mai 2017.