

SUBSTITUIÇÃO DAS TUBULAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS MISTO NO SUBSOLO DA COQUERIA 3 DA USIMINAS IPATINGA*

Gustavo Henrique Pinto de Oliveira¹
Wemerson Junio Gandra²
Adriano de Assunção Rodrigues³

Resumo

O processo de obtenção de coque em uma coqueria convencional *Non-Recovery* consiste no aquecimento de uma mistura de carvões, provocando sua desvolatilização, gerando o coque que é principal combustível utilizado em altos-fornos. O aquecimento da mistura de carvões se dá de forma indireta. As paredes dos fornos recebem calor da câmara de combustão alimentada por uma mistura de gases de alto-forno, coqueria e aciaria ou, exclusivamente pelo gás de coqueria. O gás de coqueria COG (*coke oven gas*) é composto basicamente de hidrocarbonetos e recebe tratamento para retirada de impurezas, alcatrão, sulfato de amônia e óleos leves. Os elementos residuais no gás, mesmo após o processo de tratamento são extremamente prejudiciais às tubulações de distribuição, formando compostos corrosivos, podendo ocasionar o colapso de tubulações, gerando acidentes, gastos com reparos e perda de produção. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar os fatores que levaram a necessidade de substituição das tubulações principais de distribuição de gás no subsolo da Coqueria 3 da Usiminas Ipatinga, conferindo segurança ao processo e estabilidade operacional.

Palavras-chave: Coqueria; Gás de Coqueria; Corrosivos; Tubulações.

REPLACEMENT OF MIXED GAS DISTRIBUTION PIPES IN THE BASEMENT COKING PLANT 3 USIMINAS IPATINGA

Abstract

The process of obtaining coke in a conventional *Non-Recovery* coking plant consists of heating the coal mixture, causing devolatilization, generating coke which is the main fuel used in blast furnaces. The heating of the coal mixture occurs indirectly; the furnace walls receive heat from the combustion chamber fed by a mixture of blast furnace gas, coke oven gas and Linz Donawitz gas, or exclusively by the coke oven gas. Coke oven gas is essentially composed of hydrocarbons and is treated to remove impurities, tar, ammonium sulfate and light oils. Residual elements in the gas, even after the treatment process, are extremely harmful to the distribution pipes, forming corrosive compounds, that can lead to the collapse of pipes, causing accidents, expenses with repairs and loss of production. In this context, the present work aims to present the factors that led the replacement the main gas pipelines distribution in the basement coking plant 3 of Usiminas Ipatinga, ensuring process safety and operational stability.

Keywords: Coking plant; Coke oven gas; Corrosive; Pipes.

¹ Engenheiro de Produção, Supervisor de Produção, Gerência de Coquerias Carboquímicas e Pátio de Carvão, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.

² Engenheiro Químico, Supervisor de Produção, Gerência de Coquerias Carboquímicas e Pátio de Carvão, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.

³ Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Projetos, Gerência Geral de Engenharia e Projetos, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de aço bruto em 2018 foi de 1,8 bilhão de toneladas, um aumento de 4,6% em relação a 2017 [1], sendo que mais de 71% do aço produzido utiliza carvão mineral como fonte para produção de coque [2], que é o principal combustível e exerce funções importantes para o processo de obtenção de ferro-gusa nos altos-fornos.

A coqueria é um dos grandes consumidores de energia na siderurgia, entretanto também gera importantes combustíveis, como o coque, o gás de coqueria e seus subprodutos.

O gás gerado nos fornos da coqueria é captado pelos exaustores e conduzido até a planta de tratamento, promovendo a retirada de alcatrão, H_2S , NH_3 e BTX [3].

Durante o processo de redução dos minérios nos altos-fornos e na desvolatilização do carvão durante a coqueificação são gerados, respectivamente: o gás de alto-forno BFG (*blast furnace gas*) e o gás de coqueria COG (*coke oven gas*). Eles são de grande importância na matriz energética de uma usina siderúrgica integrada, sendo utilizados como combustível nos altos-fornos, sinterizações, laminações e no aquecimento das próprias baterias de coque. Entretanto possuem em sua composição partículas sólidas em suspensão, além de H_2S , O_2 , NH_3 e outros compostos químicos que combinados com umidade e aliados às variações de temperatura, contribuem significativamente para o processo de corrosão das tubulações de fornecimento e admissão de gás nas baterias [4].

Durante o transporte dos gases, ocorre troca térmica entre a parede das tubulações e o meio externo, reduzindo a temperatura do gás, favorecendo a formação do ponto de orvalho [6]. A temperatura nesse ponto é aquela cuja taxa de evaporação de condensado numa superfície plana é igual à taxa de condensação do vapor, formando a fase líquida. Nesta situação, os compostos contendo enxofre e cloreto de hidrogênio se precipitam no meio líquido e provocam um eletrólito ácido, formando o ambiente de corrosão na superfície interna do metal [5]. O cloro contido no carvão é convertido para HCl na forma gasosa durante o processo de coqueificação, sendo este, outro fator agravante no processo de corrosão [4]. Ensaios com aço carbono comum em laboratório, exposto a um meio corrosivo, mostraram que ocorre a formação de camada fina e densa não protetora. Corpos de prova de aço carbono comum foram submetidos a testes numa atmosfera de gás contendo 15 ppm de SO_3 , 1000 ppm de SO_2 e aproximadamente 1,3% de O_2 , com e sem HCl a 800 ppm. Os resultados apresentados na figura 1, mostraram que os efeitos do HCl na taxa de corrosão dos corpos de prova se manifestaram em temperatura de ponto de orvalho do gás abaixo de $60^\circ C$ [4].

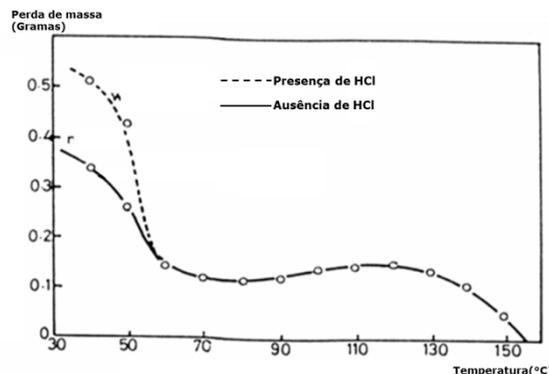
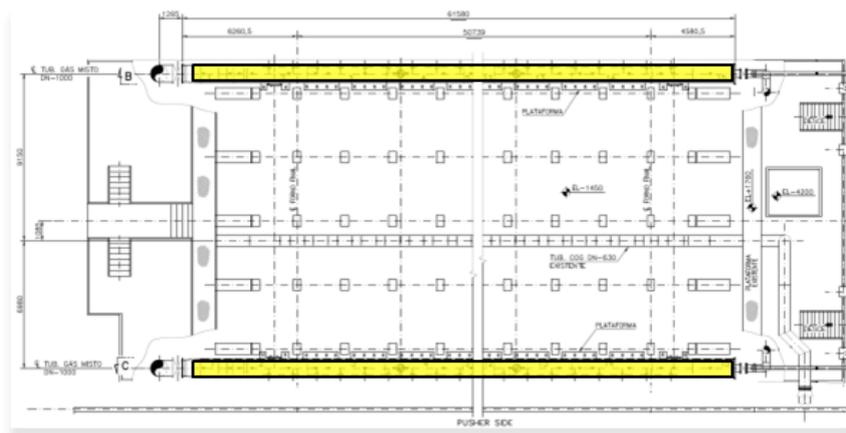


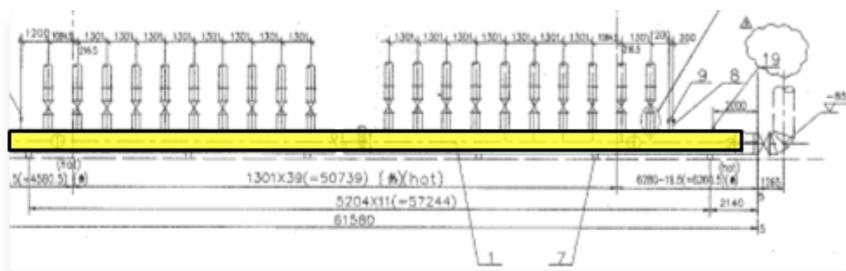
Figura 1. Cinética de corrosão na presença de HCl e temperatura [5]

Uma tubulação de aço carbono sem proteção interna é inadequada para condução de gases, principalmente na presença de COG, pelo fato de sofrerem severa corrosão causada pela presença de condensado. A ação da temperatura provoca excessiva condensação no interior das tubulações, gerando precipitação de compostos corrosivos no interior das tubulações [4].

A Usiminas, unidade de Ipatinga-MG, possui três baterias de coque em operação: a Bateria 3, na Coqueria 2 de origem ucraniana *GIPROKOKS – PVR System*, teve início de operação em 2015, com uma produção nominal de 550.000 t coque/ano e consumo de 780.000 t de carvão/ano. As Baterias 05 e 06, na Coqueria 3 de origem chinesa *ACRE – JN60-6*, tiveram início de operação em 2010, com uma produção nominal de 750.000 t de coque/ano e consumo de 1.100.000 t de carvão/ano. As tubulações de gás misto no subsolo da Coqueria 3 apresentaram elevado índice de corrosão após 6 anos de operação. A tubulação fornecida pela ACRE foi fabricada com aço Q235-b, semelhante ao ASTM A36, possuindo espessura de parede em 8,0 mm e foi instalada sem pintura interna. As Baterias 5 e 6, possuem instaladas no subsolo, quatro tubulações de 1020 mm de diâmetro para distribuição de gás para câmaras de combustão, sendo duas tubulações: uma para lado PS (*pusher side*) e uma para o lado CS (*coke side*) com 61,38 m de comprimento, conforme desenho esquemático na figura 2.



(a) Planta do subsolo Bateria 05.



(b) Elevação subsolo Bateria 05.

Figura 2. Representação esquemática das tubulações de gás misto no subsolo.

Em 2016 foram detectados diversos pontos com alto índice de corrosão. Como medida de correção foram realizados reparos à frio com solda química, tendo sido realizados 15 reparos pontuais. A partir de 2017, foram iniciados testes para verificação da espessura das tubulações e detectados diversos pontos em estado crítico de corrosão. As medições indicaram regiões com espessura em 3,4 mm,

conforme figura 3. Como contramedida, foi iniciado a execução de plano de reparos à quente, sendo necessário grande mobilização de equipes para manobras de troca de gás misto para COG puro, elevando o consumo de nitrogênio devido necessidade de inertização geral das linhas. Entre 2016 e 2017, foram realizadas 20 manobras para intervenções de manutenção e todas as 168 junções na tubulação receberam reparo à quente com solda.

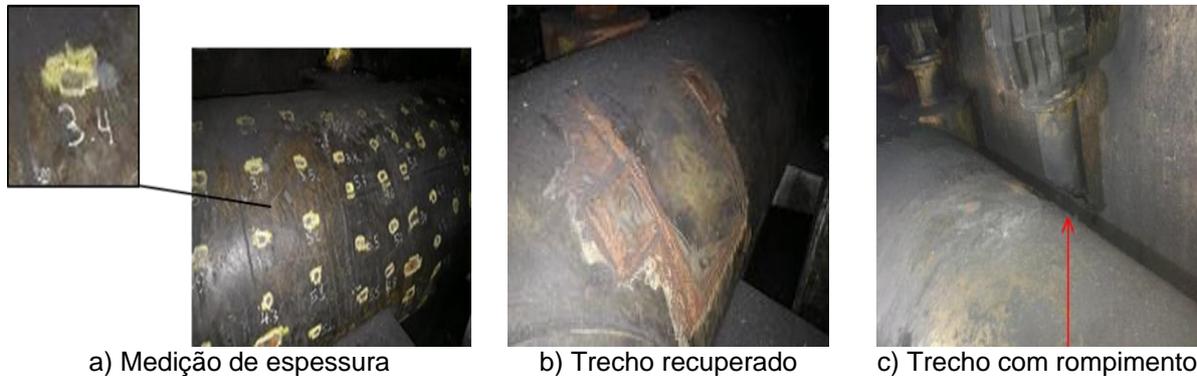


Figura 3. Tubulações no subsolo das Baterias 5 e 6.

Diante do exposto e face às questões de segurança e às manobras de gás emergenciais para reparos provisórios, fez-se necessária a substituição de todos os 246 metros das tubulações de distribuição de gás misto do subsolo da Coqueria 3.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Após constatação do agravamento do nível de corrosão das tubulações, com aumento da incidência de vazamentos e diante dos riscos de acidentes de grande potencialidade, foi acelerado o processo de análise de viabilidade, optando-se por realizar a substituição das tubulações de distribuição de gás misto no subsolo da Coqueria 3. O escopo básico do projeto abrangeu a substituição das 4 tubulações dos subsolos das Baterias 5 e 6, por tubulação com aço de qualidade superior e adequação do sistema de drenagem visando reduzir o acúmulo de material na tubulação, reduzindo a deterioração.

Tabela 1. Dados dos materiais de substituição

QUANTITATIVOS POR BATERIA	
Tubulação por bateria	2 headers x 60 m = 120 m
Diâmetro da tubulação principal	1020 mm
Espessura da parede	9,5 mm
Material (projeto novo)	USI SAC 350 (pintura interna)
Juntas flexíveis	84 unidades
Peso tubulação	36 t

2.1 Planejamento

Foi desenvolvido um cronograma inicial, conforme quadro 1, para execução do projeto, abrangendo desde a aprovação do investimento até o período de contingenciamento final.

Quadro 1. Cronograma macro do projeto

Etapa	FAI 127 / 2018 - Troca das tubulações do subsolo da Coqueria 3																
	Aprovação FAI 2018					2019											
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	
Aprovação do Investimento	↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	17	
Licitação																	
Engenharia Nacional																	
Fornecimento dos materiais para Bateria 5																	
Fornecimento dos materiais para Bateria 6																	
Obra Civil																	
Preparação e Montagem na Bateria 5																	
Preparação e Montagem na Bateria 6																	
Contingência																	
TOTAL																	

O planejamento da execução contemplou os seguintes passos:

1. desmontagem das 168 juntas de expansão;
2. desmontagem das 168 válvulas manuais e 168 válvulas de bloqueio;
3. retirada e sucateamento de 64 seções de tubulação das baterias 5 e 6;
4. preparação e limpeza da área para montagem dos novos tubos;
5. montagem das 64 seções de novas tubulações das baterias 5 e 6;
6. montagem de 168 válvulas de bloqueio e 168 válvulas manuais;
7. montagem das 168 juntas de expansão;
8. montagem da válvula geral na linha principal e montagem de válvulas de dreno;
9. teste de estanqueidade para verificação de vazamentos;
10. liberação das tubulações para operação.

2.2 Execução da troca de tubulações

Conforme apresentado anteriormente no cronograma macro (quadro 1), o início da troca das tubulações se daria no mês de julho, porém as datas foram revisadas e as obras tiveram início no mês de abril. O novo cronograma previu o início das obras na Bateria 5 para o dia 12 de março de 2019 e para Bateria 6 no dia 12 de abril de 2019. Para ambas as baterias foram previstos 27 dias de reparos, abrangendo: preparação, desmontagem, montagem, testes e desbloqueios. O início dos reparos nas baterias se deu em conformidade com o planejado no cronograma, entretanto durante a execução, houveram ganhos em atividades de preparação e caminhos críticos, permitindo assim que a entrega ocorresse antes do prazo previsto. Todas as etapas na bateria 5 e 6, foram concluídas no período de 24 dias dos 27 dias planejados.

2.3 Impacto na produção

O índice de produção previsto na Coqueria 3 é 123%, correspondente a 99 fornos/dia. Para troca das tubulações foi necessária redução do índice de produção para 116%, correspondente a 93 fornos/dia, gerando aproximadamente 2100 t/dia. Na figura 4 é apresentado a produção em toneladas, planejada durante o

período de realização das obras de reparo ocorrida nos meses de março a maio de 2019

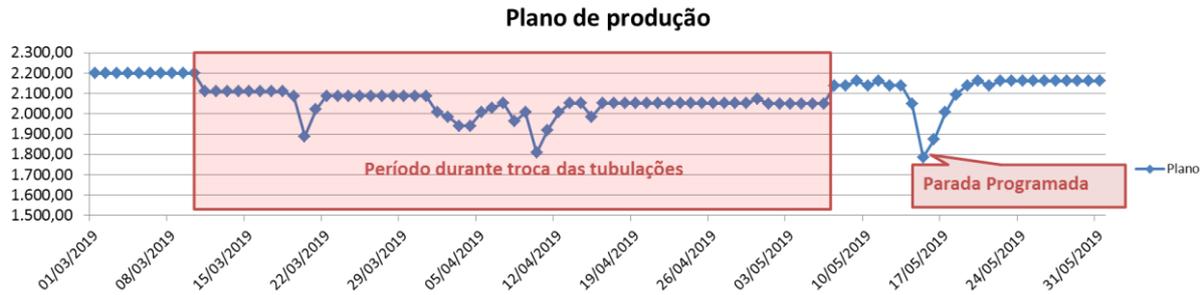


Figura 4. Produção planejada para período de troca das tubulações.

A redução se fez necessária pois, durante o período de troca das tubulações o consumo de gás misto foi interrompido e a linha purgada, sendo então utilizada a linha alternativa de aquecimento das baterias com o consumo de COG puro. O sistema de admissão de gás COG é do tipo *underjet* e quando utilizado por longos períodos (acima de 7 dias), acarreta diversas obstruções por deposição de particulados contidos no COG e geração de condensado, dificultando a admissão de gás.

2.4 Impacto no controle térmico

No dia 12 de março de 2019, foi realizada a retirada do consumo de gás BFG e iniciado consumo de COG puro na Bateria 5. Sequencialmente, foi selada a linha de alimentação de BFG e realizada purga para início das atividades de troca das tubulações. As medições de temperatura longitudinal, da Bateria 5, indicaram que, após o início de consumo de gás COG puro houve perda térmica na bateria, conforme indicado na figura 5. Esse fato já era previsto, pois, impurezas contidas no gás, juntamente com condensado formado nas tubulações por variações nas temperaturas do gás e do ambiente, ocasionam obstruções parciais e completas no sistema de admissão de COG puro para aquecimento das paredes, provocando distúrbios térmicos nas baterias. Como contramedida, além da redução do índice de produção, foi designado efetivo dedicado para inspeção e limpeza das tubulações de admissão de COG durante todo período de reparo.

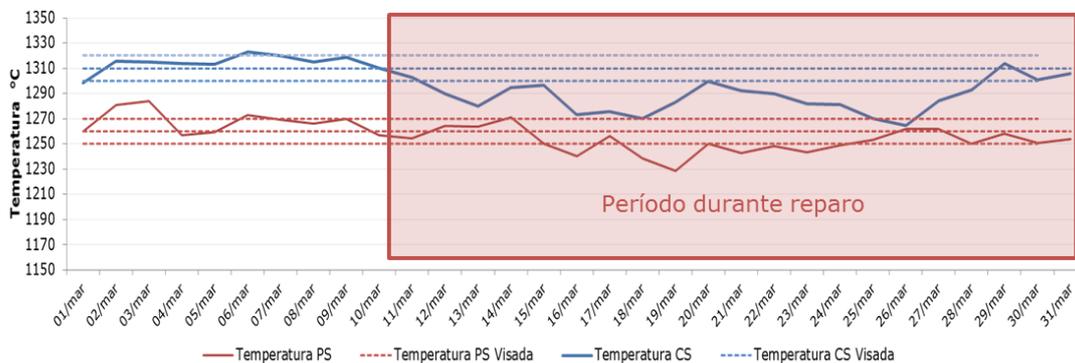


Figura 5. Temperatura longitudinal da Bateria 5 durante reparo.

Após a conclusão dos reparos na Bateria 5, foi dado início aos preparativos para realização das obras na bateria 6. No dia 12 de abril de 2019, foi realizada

suspensão do consumo de BFG e iniciado o consumo de COG puro para aquecimento, sendo então liberado o início dos serviços no subsolo. Semelhantemente ao comportamento térmico ocorrido da Bateria 5, a Bateria 6 também apresentou menor perda de reserva térmica, conforme indicado a figura 6.

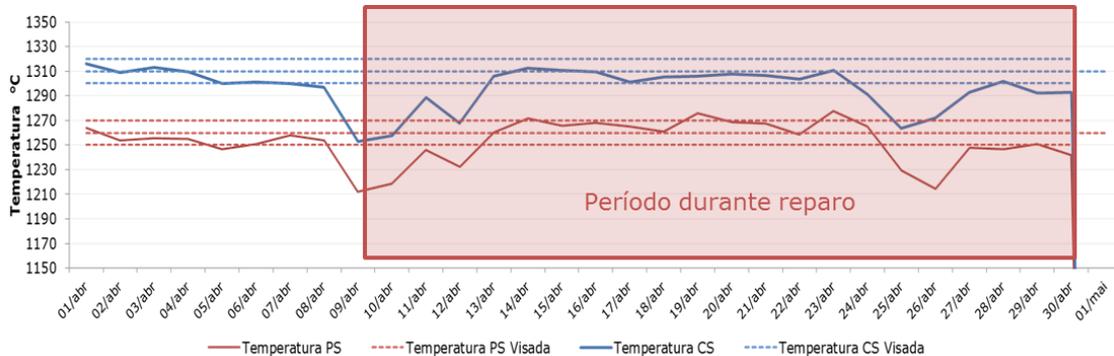


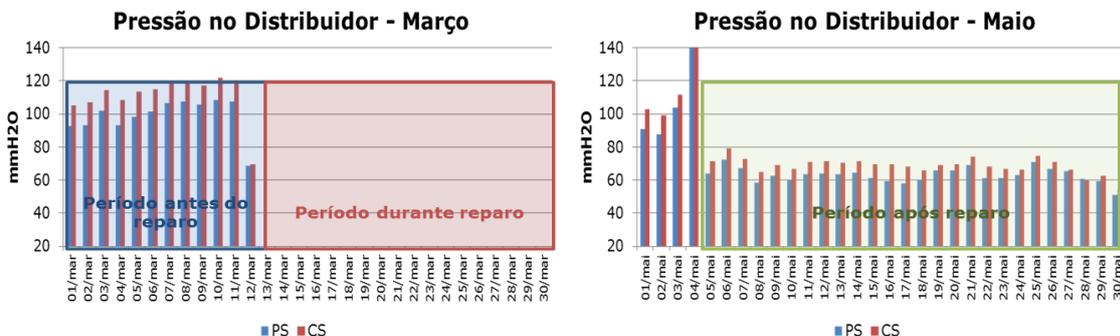
Figura 6. Temperatura longitudinal da Bateria 6 durante reparo.

A Bateria 6 consumiu COG puro para aquecimento das paredes até o dia 03 de maio de 2019.

3 RESULTADOS

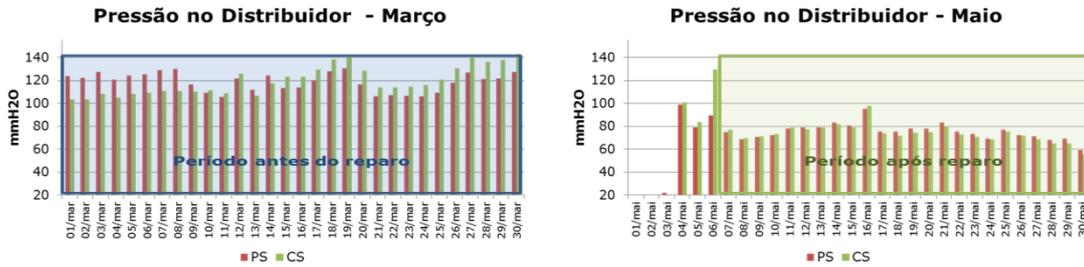
3.1 Recuperação térmica e retomada do índice de produção

Após liberação do consumo de gás misto, foi iniciada a regulagem das baterias para recuperação térmica dos fornos, que consistiu basicamente em: medição de pressão interna nas câmaras de combustão, checagem de pressão nas caixas e canal principal de fumaça, checagem das pressões de admissão de gás misto e medições de temperatura, visando à elevação do índice de produção. Com a substituição das tubulações, os parâmetros de admissão de gás foram alterados. Isso porquê as tubulações que foram substituídas, apresentavam acúmulo de resíduos em seu interior, além do elevado nível de corrosão, restringindo a fluidez do gás e ocasionando elevação na pressão de distribuição. Com as novas tubulações houve queda significativa de pressão no distribuidor de 100 mmH₂O para 60 mmH₂O em média, conforme figuras 7a e 7b, porém não houveram ganhos significativos de vazão, conforme pode-se observar nas figuras 8a e 8b, que apresentam um comparativo entre o mês de fevereiro (antes do início dos reparos) e o mês maio (após a conclusão dos reparos).



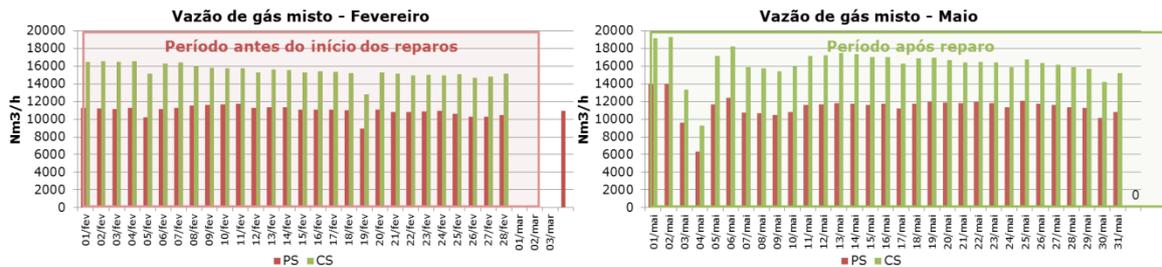
(a) Pressão distribuidor Bateria 5.

Figura 7. Pressão no tubo distribuidor de gás misto antes e após o reparo.

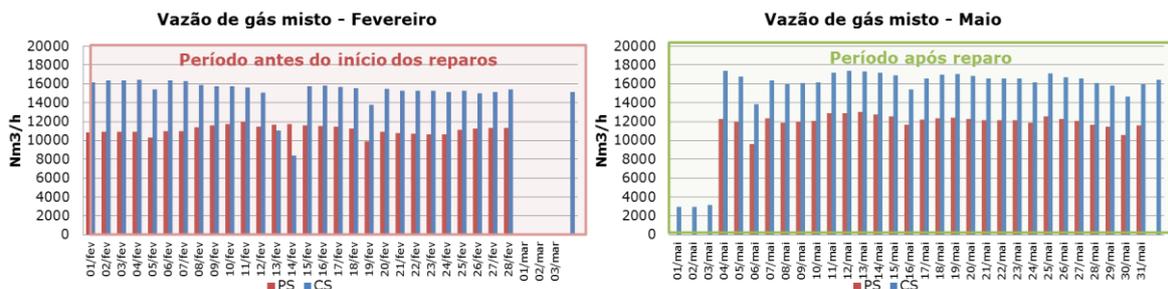


(b) Pressão distribuidor Bateria 6.

Figura 7. (Continuação)



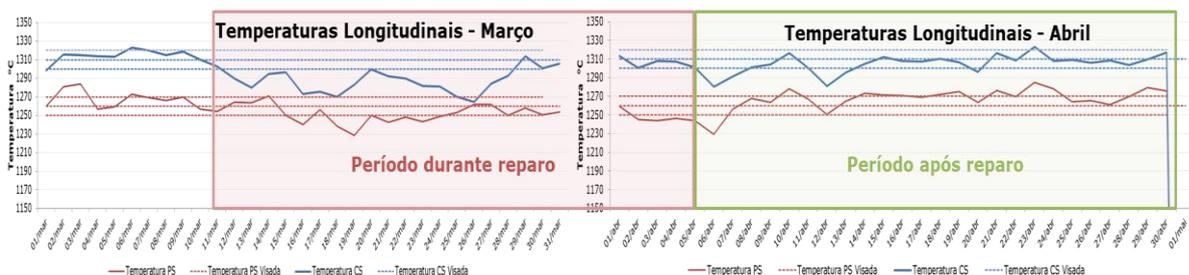
(a) Vazão distribuidor Bateria 5.



(b) Vazão distribuidor Bateria 6.

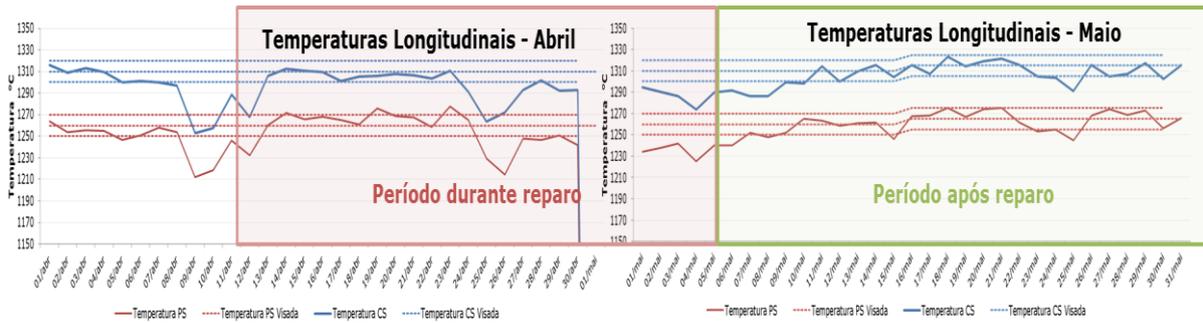
Figura 8. Vazão no tubo distribuidor de gás misto antes e após o reparo.

Durante o período de consumo de COG puro para aquecimento das baterias houveram medições que indicaram câmaras com até 40°C abaixo da meta para o lado CS (*coke side*) e 30°C abaixo da meta para o lado PS (*pusher side*), as Baterias 5 e 6 para um índice de produção acima de 115% tem como meta média, temperaturas lado CS em 1310°C e lado PS em 1260°C. Com os ajustes e regulagens após a conclusão das obras, houve rápida recuperação do aporte térmico, alcançando-se novamente as temperaturas objetivadas, conforme demonstrado nas figuras 9a e 9b.



(a) Recuperação térmica Bateria 5.

Figura 9. Temperaturas longitudinais das baterias durante e após reparo.



(b) Recuperação térmica Bateria 6.

Figura 9.(Continuação)

3.2 Retomada do índice de produção

A elevação do ritmo de produção se deu de maneira gradativa à medida que as baterias foram recuperando sua reserva térmica. Conforme planejamento, os desenformamentos/dia se elevaram a partir do dia 05 de maio (1 dia após a conclusão das atividades) para 95 fornos, alcançando o índice normal de produção após 6 dias, conforme figura 10.

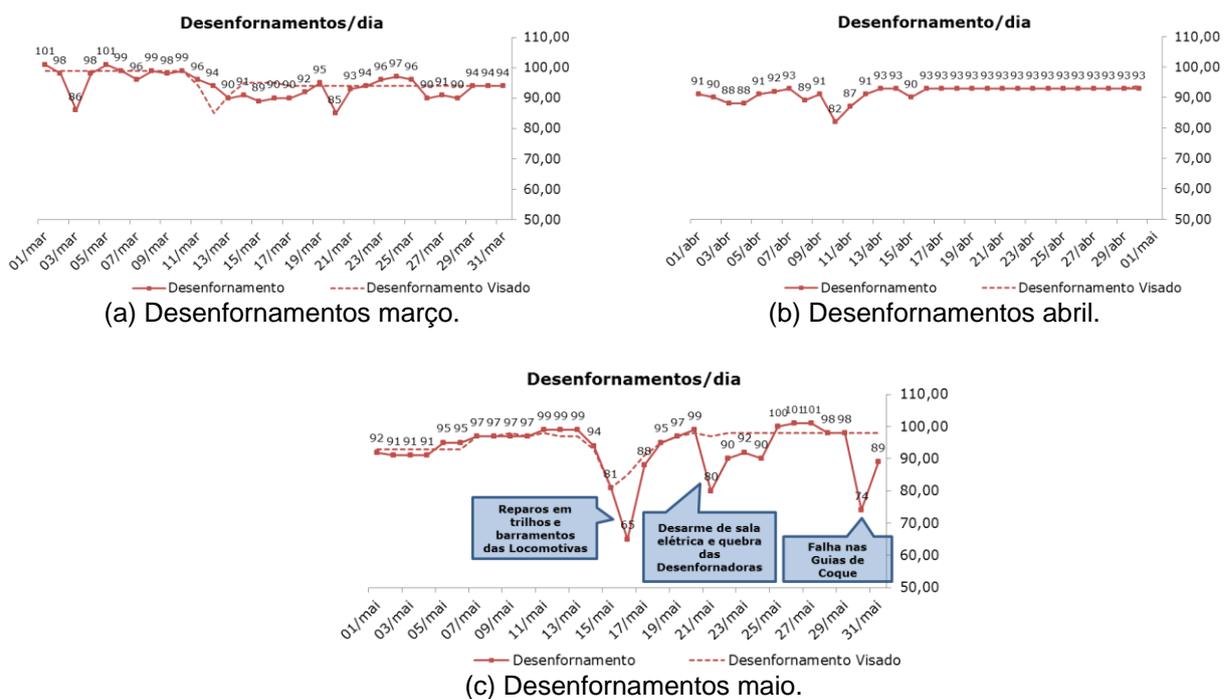


Figura 10. Desenformamento Coqueria 3 durante e após reparo.

A figura 11 apresenta um comparativo global da produção em toneladas, durante o período de reparos, retomada e normalização da produção.



Quanto à qualidade do coque, embora tenha ocorrido perda térmica dos fornos no período de troca das tubulações, os índices de resistência à frio DI (*drum index*), resistência após reação com CO₂ CSR (*coke strenght after reaction*) e umidade não sofreram variações significativas.

4 CONCLUSÃO

As atividades de preparação e troca das tubulações do subsolo da Coqueria 3 ocorreram sem acidentes e com ganho de 3 dias em relação ao planejado. Conforme previsto, houve perda térmica nos fornos e conseqüentemente redução do índice de produção, entretanto, não houve impacto na qualidade de coque.

A segurança do processo obteve ganho de robustez e confiabilidade após a substituição das tubulações, sendo eliminada a necessidade de realização de manobras de gás imprevistas para reparos emergenciais na tubulação de gás misto. Ressalta-se ainda a redução das variações térmicas, eliminando a exposição das equipes ao risco e a de contratação de reparos.

REFERÊNCIAS

- 1 WORLD STEEL ASSOCIATION. Global crude steel output increases by 4.6% in 2018. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2019/Global-crude-steel-output-increases-by-4.6--in-2018.html>>. Acesso em 03 jul.2019.
- 2 WORLD COAL ASSOCIATION. How is Steel Produced. Disponível em: <<https://www.worldcoal.org/coal/uses-coal/how-steel-produced>>. Acesso em 10 jun.2019.
- 3 KERN, W.; PETZSCH, M.; ESPOSITO, A; JUNIOR, H. R. S. Modern Coke Oven Gas Treatment Technology at a New Coke Making Plant in Brazil. Contribuição Técnica ao 45º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas. ABM, Rio de Janeiro, 2015.
- 4 VIEIRA, W.P. Estudo de Corrosão em Tubulações de Gás de Coqueria, Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo. 2004. 129 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica).
- 5 HOLMES, D. R. Dewpoint corrosion. Ellis Horwood Limited, England, 593 p. 2006.
- 6 OKAMOTO, J.; ISHITSUKA, T.; SOENO, A. Renewal of Sulfuric-acid-resistant Steel. Nippon Steel Technical Report, 90, p. 98, 2004.