

RETORNO OPERACIONAL DO ALTO-FORNO 3 DA USIMINAS IPATINGA APÓS A 2ª TROCA DE STAVES*

*José Eduardo da Silva Moreli¹
Mauro Vivaldino Fernandes²
Adriano Cesar Carvalhido³
Larissa Rodrigues de Carvalho Rocha⁴
Beatriz Fausta Gandra⁵*

Resumo

No atual cenário siderúrgico, o prolongamento da campanha de um alto-forno tem sido prática usual em diversas empresas. Nesse contexto, a Usiminas tem realizado diversas ações de preservação dos altos-fornos, conciliando com a manutenção da competitividade. Particularmente, o Alto-Forno 3 da Usina de Ipatinga passou por duas trocas de *staves*, em 2015 e 2018, totalizando a substituição de 68 peças. No presente trabalho é apresentado o planejamento e a execução do retorno operacional após a 2ª troca de *staves*, destacando as contingências adotadas e lições aprendidas face às ocorrências que impactaram o cumprimento do cronograma previsto. Essa intervenção possibilitará a postergação da reforma para 2021, em alinhamento com as diretrizes da empresa e garantindo uma estabilidade operacional, fundamental para os cumprimentos e superação das metas.

Palavras-chave: Alto-Forno; *Staves*; Campanha.

PLANNING AND EXECUTION OF USIMINAS' BLAST FURNACE 3 BLOW IN AFTER THE SECOND STAVES EXCHANGE

Abstract

The blast furnace campaign extension has been a common practice in several companies considering the current steel scenario. In this context, Usiminas has carried out several actions to preserve the blast furnaces, reconciling with the maintenance of competitiveness. In particular, Ipatinga Blast Furnace 3 passed through two staves exchanges in 2015 and 2018, totaling the replacement of 68 pieces. The present paper presents the planning and execution of the operational return after the 2nd staves exchange, highlighting the contingencies adopted and lessons learned from the occurrences that impacted the compliance with the schedule. This intervention will enable the postponement of the Blast Furnace#3 reform to 2021, in alignment with the company's guidelines and guaranteeing operational stability, fundamental for compliance and overcoming the targets.

Keywords: Blast furnace; *Staves*; Campaign.

- ¹ Engenheiro Químico, Gerência Técnica de Redução da Usiminas; Ipatinga, MG, Brasil.
- ² Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM; M. Sc., Gerência Técnica de Redução da Usiminas; Ipatinga, MG, Brasil.
- ³ Engenheiro Mecânico, Gerência Técnica de Redução da Usiminas; Ipatinga, MG, Brasil.
- ⁴ Engenheira Metalurgista, Gerência Técnica de Redução da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.
- ⁵ Engenheira Metalurgista, Membro da ABM, M. Sc., Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A retomada operacional do alto-forno, após longo período de parada, é apontada como uma das etapas mais complexas e metódicas do ponto de vista da prática operacional. As diversas práticas utilizadas visam a elevação da produção e o acerto da qualidade do gusa a níveis normais, com os menores distúrbios operacionais possíveis. Neste contexto a Usiminas adotou para o retorno operacional após a 2ª troca de *staves* o método de aquecimento do cadinho por lança de oxi-gás, bem como todos os procedimentos conhecidos que acompanham este tipo de operação. Os critérios adotados para a escolha deste tipo de retorno foram baseados nas características programadas e que se encontravam o reator após o término da troca de *staves*.

A seqüência macro de eventos está dividida em cinco etapas principais, conforme indicado na Figura 1.

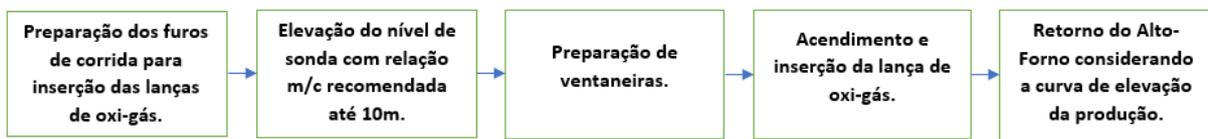


Figura 1. Fluxo operacional de preparação até o retorno operacional do alto-forno.

O planejamento foi feito objetivando total abertura das ventaneiras e retomada do ritmo produtivo em um período de 81 h após o retorno operacional.

2 DESENVOLVIMENTO

O retorno operacional do Alto-Forno 3 foi planejado levando-se em conta as condições como se encontrava o reator: nível de sonda em 2,3 m abaixo do nível B2 (rampa) e o cadinho sem drenagem de material residual (salamandra). A forma de aquecimento do cadinho e retorno operacional foi com base no método de utilização da lança de oxi-gás com elevação da produção por meio da abertura gradativa de ventaneiras.

Antes do reinício de marcha foram planejadas as seguintes atividades: aquecimento dos regeneradores, preparação das ventaneiras que iniciariam a operação e daquelas a serem abertas posteriormente, enchimento do forno e injeção de massa entre carcaça e *staves* e aquecimento do cadinho com lança oxi-gás.

O tempo previsto de parada do Alto-Forno 3 foi de 271 h. Como não foi realizada corrida de salamandra, neste tempo, ela estaria praticamente solidificada. No reinício de marcha, esta salamandra solidificada, além de reduzir o espaço para o gusa e a escória produzidos, absorve uma quantidade significativa de calor.

Por estes motivos, além de usar a lança oxi-gás, foi planejado entrar com metade das ventaneiras fechadas (Figura 2), de modo a direcionar a produção de gusa para a região dos furos em operação.

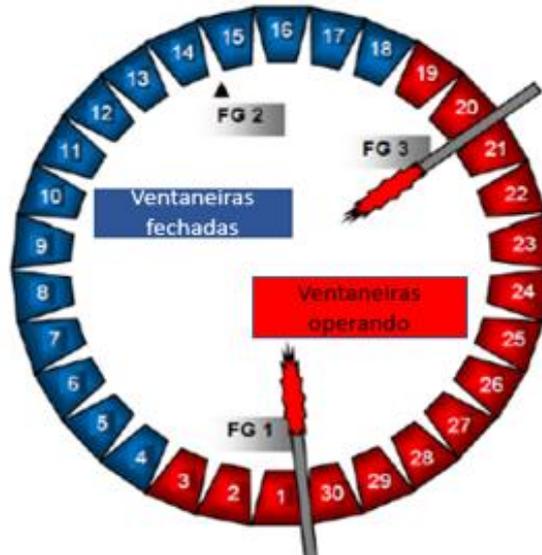


Figura 2. Planejamento para reinício de operação (ventaneiras fechadas e abertas e disposição das lanças oxigênio-gás).

As ventaneiras preparadas para iniciar a operação foram isoladas com disco metálico/manta cerâmica e chamote, sendo instalado, em cada uma, um termopar para monitorar a temperatura. O termopar foi inserido em um tubo de lança PCI, com a ponta do tubo fechada, o que garantiu que a junta de medição fosse posicionada cerca de 300 mm a frente da ventaneira e tivesse uma boa vedação contra o vazamento de gases da combustão oriundos do cadinho.

As ventaneiras preparadas para abertura posterior foram isoladas previamente com “copo” cerâmico (Figura 3). Este dispositivo desenvolvido internamente na Usiminas permite a continuidade operacional durante a fase de retorno sem interrupções para preparação de ventaneiras. A quebra destes “copos” foi planejada para ser realizada com o forno em operação, utilizando-se um tubo introduzido pelo *check-valve* de injeção de gás natural ou carvão [1, 2].



Figura 3. Dispositivo utilizado para isolamento das ventaneiras.

2.1 Enchimento do Forno e Injeção de Massa entre Carcaça e Staves

Foram previstas 12 h para encher o forno. Após 9 h desta operação, e partir do momento que a carga ultrapassasse o nível de *stock line* (SL) +16,1 m, planejou-se o início da injeção de massa entre carcaça e *staves*.

A partir de então estas duas atividades foram previstas em paralelo, com a precaução de somente iniciar a injeção em um nível de *staves* quando a carga tivesse ultrapassado o seu nível superior. Na Tabela 1 são mostradas as alturas de carga (em relação às sondas de carga) referente ao nível superior de cada *stave*.

Tabela 1. Altura de carga relativa ao nível superior de cada *stave* a ser trocado

Stave	B2	B3	S1	S2
Altura de carga (m)	20,3	17,9	15,5	13,1

O enchimento foi previsto até o nível de carga de 10 m. Esta é uma prática adotada atualmente na Empresa que foi utilizada como referência em grandes paradas com sonda baixa.

2.2 Cálculo das Cargas de Enchimento

Foram elaborados os cálculos das cargas de enchimento do forno, conforme apresentado na Figura 4.

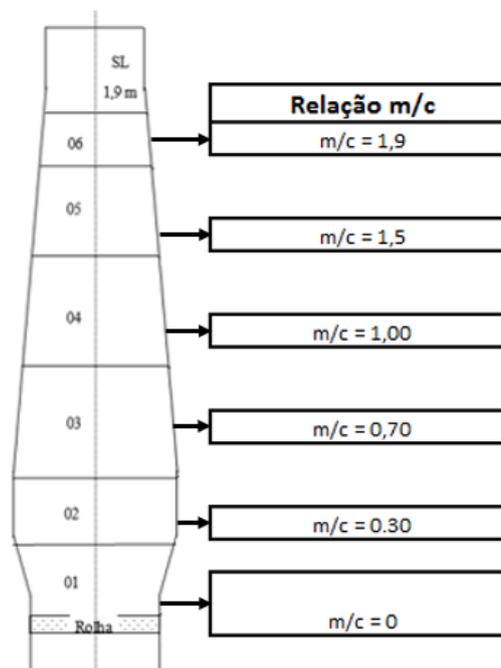


Figura 4. Planejamento das cargas de enchimento do Alto-Forno 3.

2.3 Lança Oxi-Gás

A utilização de lança oxi-gás é usada no aquecimento do cadinho de modo a melhorar as condições para receber o gusa e a escória produzidos durante o reinício de operação, esta prática foi introduzida na Usiminas na Usina de Cubatão e empregada pela primeira vez em Ipatinga em 2015, após a realização da primeira troca de *staves*. Devido aos bons resultados de sua utilização, esta prática foi

novamente empregada. A produção de energia para aquecimento do cadinho ocorre segundo a Equação (1).



O aquecimento do cadinho é iniciado com o forno parado. Para monitorar o processo de aquecimento, são instalados termopares nas ventaneiras, inseridos cerca de 300 mm na carga.

Quando a temperatura alcança 900°C nestes termopares, infere-se que o fundo do cadinho se encontra acima de 1200°C e em condições de partir o forno. Após a partida, o processo de combustão continua até próximo à primeira corrida, conforme ilustrado na Figura 5.

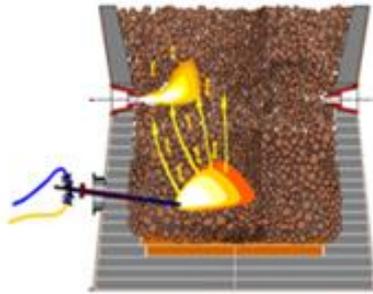


Figura 5. Conceito operacional de uso das lanças oxi-gás.

A própria lança oxi-gás é equipada com seis termopares (Figura 6) ao longo do comprimento. A função destes termopares é indicar, no final do processo, a presença de gusa líquido. Neste caso, quando os termopares são queimados pelo gusa líquido o processo de combustão é interrompido e a lança cortada para dar início à primeira corrida.

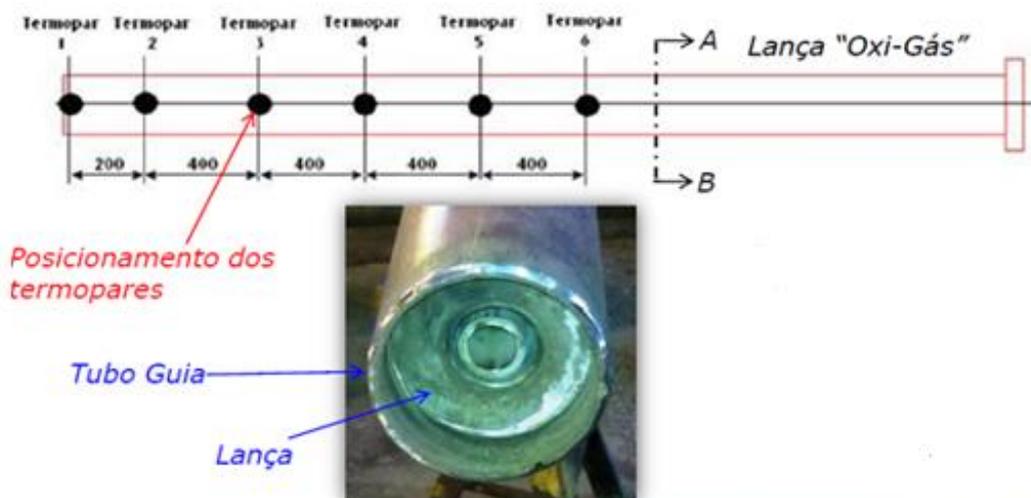


Figura 6. Detalhes da lança oxi-gás.

Foram posicionadas lanças oxi-gás nos Furos de Gusa 1 e 3, região na qual se concentraram as ventaneiras que entrariam em operação, conforme indicado anteriormente na Figura 2.

2.4 Planejamento para o Período de Combustão da lança

A combustão foi dividida em duas etapas: um tempo estimado de 24 h antes da partida do forno, com a possibilidade de adiantamento no caso das temperaturas de metade das ventaneiras alcançarem 900°C e um tempo estimado de 12 h após a partida para corte da lança, com possibilidade de adiantamento no caso da temperatura da lança no termopar mais próximo do bloco de carbono alcançar 1100°C.

Antes da partida do forno é necessária uma rampa de elevação de vazão com relação O₂/gás de 1,5. Esta relação deve ser elevada até 2,0 uma hora antes do final da primeira etapa de modo a consumir bolsões de gás natural ou hidrogênio antes dos serviços de preparação das ventaneiras, mantendo-se este valor durante a segunda etapa (com o forno em operação).

2.5 Início de Operação e Variáveis Operacionais

A elevação da vazão de ar soprado foi programada identicamente ao planejado para a troca de *staves* em 2015, procurando-se atingir vazão média próxima de 200 Nm³ de ar/ventaneira, com o objetivo de ativar o núcleo do forno. Esta vazão média por ventaneira, posteriormente, reduz em função da abertura das ventaneiras isoladas. Planejou-se a abertura das duas primeiras ventaneiras após 18 h do final da primeira corrida, prevista para 19 h após o reinício de marcha. Para a abertura das ventaneiras seriam observados o valor e a tendência da temperatura do gusa, que deve estar acima de 1.400°C sem tendência de queda.

O aumento de vazão de ar soprado foi planejado conforme indicado na Figura 7.

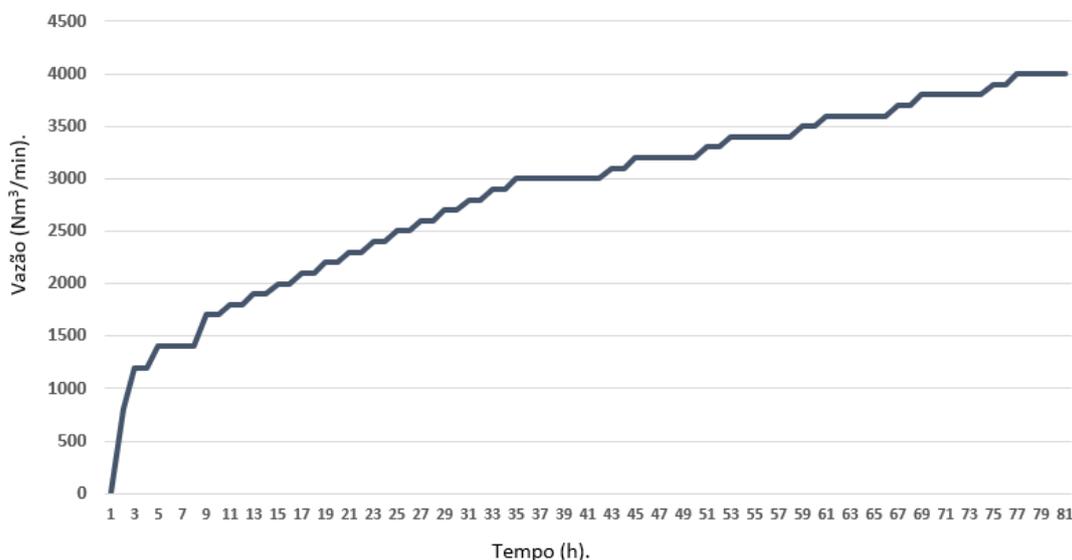


Figura 7. Planejamento da elevação de vazão de sopro.

2.6 Passagem do Gás para o Lavador

No início da operação, o gás é rico em CO e H₂ e, além disto, existe a possibilidade de presença de oxigênio no gás. Portanto, as condições para passar o gás para o gasômetro são 0% de O₂, < 5% de H₂ e PCI < 1200 kcal/Nm³, prevista para ocorrer 3 h após o início de operação do Alto-Forno.

2.7 Os Primeiros Dias de Operação

O plano de operação (Tabela 2) dos primeiros dias foi baseado nos resultados obtidos em 2015, após a primeira troca de *staves* do Alto-forno 3.

Tabela 2. Evolução das variáveis nos primeiros dias de operação.

Dias	Produção (t/dia)	Coke rate (kg/t)	PCR (kg/t)	Fuel rate (kg/t)	Si (%)	B2 (-)	Vazão de ar (Nm ³ /min)	Uar (g/Nm ³)	Tar (°C)
1	-	-	-	-	-	-	900	atm	880
2	1250	1524	0	1524	3,5	0,81	1940	30	950
3	1760	742	0	742	3,25	1,01	2990	40	920
4	2840	599	0	599	2,18	1,10	3588	40	900
5	3840	526	0	526	1,09	1,14	4110	35	1000
6	4430	494	40	534	0,65	1,16	4463	35	1100
7	5330	433	90	523	0,45	1,18	4663	30	1150
8	5640	428	100	528	0,45	1,18	4856	30	1160
9	6000	409	110	519	0,45	1,18	4900	30	1180
10	6170	401	110	511	0,45	1,18	4900	30	1180

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teste de Vazão de Combustão da Lanças e Preparação das Áreas de Corrida

Como primeira recomendação para início de preparação do retorno operacional, foram realizados testes de vazão e chama nas duas lanças oxi-gás antecipadamente às suas inserções nos Furos de Gusa 1 e 3. A curva de teste (Tabela 3) utilizada por diversas ocasiões na Usiminas foi seguida, objetivando a elevação das vazões de gás natural e oxigênio com a observação da chama e possíveis comportamentos inadequados (trepidação, vazamentos, chama pulsante). Individualmente as vazões alcançaram os valores objetivados, mas é de conhecimento que estes valores poderiam sofrer alterações durante o aquecimento, pois estavam atreladas às condições de permeabilidade do cadinho.

Tabela 3. Curva de teste da vazão de combustão.

GN (Nm ³ /h)	O ₂ (Nm ³ /h)
50	75
100	150
200	300
*300	*450
400	600
500	750
600	900
700	1050

*vazão alcançada

A preparação das áreas de corrida iniciaram em 04/12/2018, as furações para a inserção das lanças de oxi-gás transcorreram dentro do planejado, ou seja, alcançaram 4000 mm. Para tanto, os perfuradores tiveram seu ângulo de furação modificado de modo a alcançar o nível de gusa o mais perto possível das ventaneiras. Todas as contingências para garantia da operacionalidade como preparação dos canais de gusa e escória, instalação de bico especial para os canhões obturadores e elevação das laterais de canais foram devidamente executadas prevendo a dificuldade de escoamento do gusa e escória inicial, sendo este comportamento natural deste processo de retomada.

3.2 Enchimento do Alto-Forno e Preparação de Ventaneiras

A operação de enchimento teve início as 21h00min de 12/12/2018 sendo finalizada as 06h30min de 13/12/2018. Todas as cargas de enchimento obedeceram ao plano, de forma a ter uma relação média da razão minério/coque (M/C) igual a 0,64 ao final da operação. Durante o período de enchimento ao alcançar o nível de carga de 16 m iniciou-se a operação de injeção de massa entre os novos staves e a carcaça. A preparação de ventaneiras para a partida do Alto-Forno sofreu alteração no seu *layout* com o fechamento de mais seis peças em relação ao planejado, conforme indicado na Figura 8.

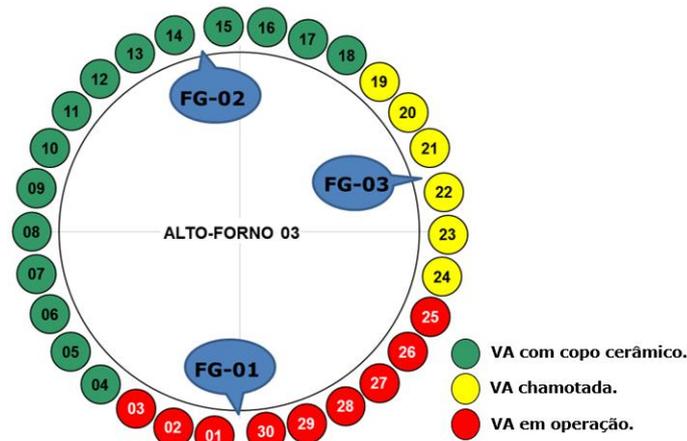


Figura 8. Layout das ventaneiras após preparação para início de operação.

Estas modificações foram impulsionadas pela observação de material refratário em algumas ventaneiras (Figura 9) oriundo da atividade de injeção de massa no costado dos staves.



Figura 9. Observação de material refratário na região entre ventaneiras 19 e 24.

Imediatamente após o ocorrido foram tomadas medidas de contenção de forma a obter uma prévia ativação da área atingida com o forno em operação. No momento entendia-se que o setor afetado estaria bloqueado e inativo podendo causar sérios distúrbios operacionais caso a opção fosse retornar com a região a plena operação. Assim sendo, após estas alterações, a curva de elevação da produção foi ajustada, levando-se em consideração o maior tempo para abertura total das ventaneiras e as inevitáveis interrupções da produção para a abertura destas peças. Isto porque na ocasião decidiu-se pelo fechamento das ventaneiras adicionais, sem possibilidades de abertura com o forno em operação, diferentemente das demais quinze ventaneiras.

3.3 Inserções das Lança e Controle da Combustão

As lanças foram inseridas respectivamente nas áreas 1 e 3 após a finalização do processo de preparação de ventaneiras. A movimentação das peças ocorreu com chama baixa e de maneira manual, após a completa inserção e travamento dos componentes, iniciou-se a elevação de vazão de gás natural e oxigênio às 14h do dia 14/12/2018, obedecendo aos valores definidos nos testes. Como de conhecimento a elevação destas variáveis estava atrelada as condições de permeabilidade do cadinho. Inicialmente o comportamento foi melhor que os valores alcançados no retorno da primeira troca de *stave*. Por meio da Figura 10 é possível observar menores vazões na lança da área de corrida 3, mas uma quantidade significativamente superior na área de corrida 1, quando comparadas com 2015, consequentemente esperava-se um aquecimento com menor tempo para alcançar as premissas de retorno do alto-forno, uma vez que o input de energia térmica era maior ao decorrer do tempo.

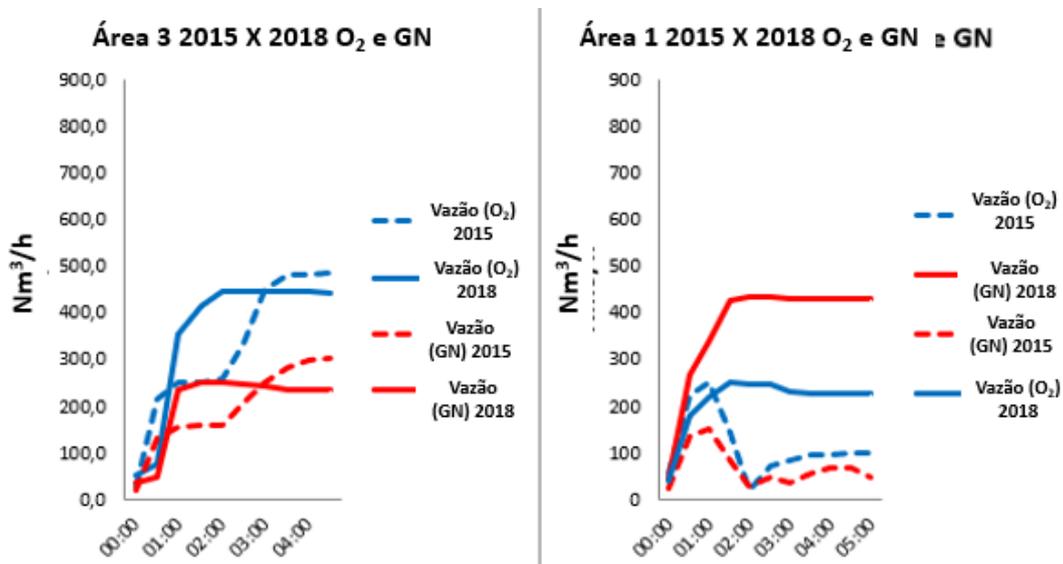


Figura 10. Comparativo de vazões 2018 x 2015.

Durante o decorrer do processo de aquecimento ocorreu falha nas unidades controladoras das lanças de oxi-gás por voltas das 11h30min do dia 14/12/2018, sendo necessária a retirada imediata das lanças, conforme procedimento de segurança. O procedimento é obrigatoriamente acionado quando não é possível visualizar a chama ou são interrompidas as vazões de oxigênio ou de gás. Esta tarefa exige cautela e tempo já que pode haver o agarramento de material líquido na ponta e dilatação do corpo da peça. Após a retirada das lanças, as condições das unidades controladoras foram reestabelecidas somente na área de corrida 3, em função de indisponibilidade de unidades reservas. Consequentemente, foi necessário um maior tempo de pré-aquecimento do cadinho, pois a operação ficou restrita a um único quadrante do alto-forno, com significativa menor entrada de energia. Inicialmente, previa-se um tempo de aquecimento para retorno operacional de 24 h, 6 h de abertura de ventaneiras e 6 h para corte da lança. Perante as ocorrências e desafios inoportunos, o tempo real destas fases superou o planejado, conforme indicado na Figura 11.

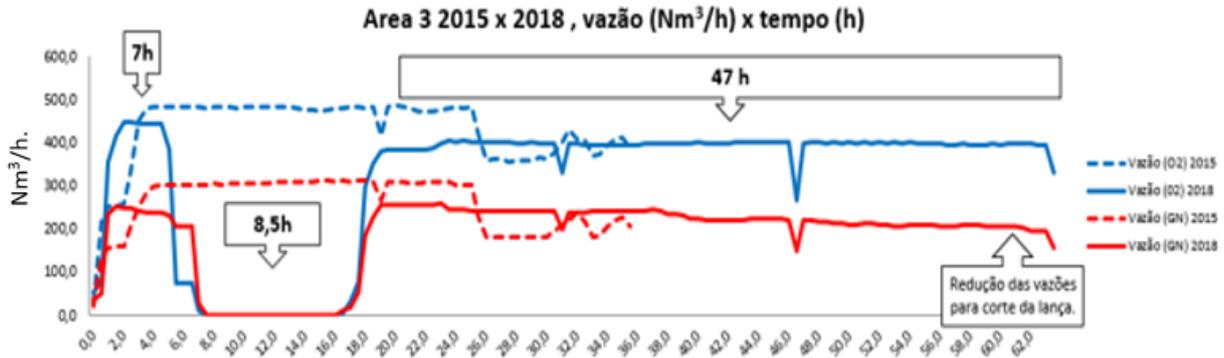


Figura 11. Período de pré-aquecimento real 2018 x 2015.

3.4 Retorno Operacional

O *blown in* ocorreu às 15h46min de 16/12/2018, após abertura das ventaneiras previstas para entrar em operação. A partir de então, elevou-se a produção gradativamente obedecendo a curva programada e reajustada para o menor número de ventaneiras em operação. O corte da lança de oxi-gás ficou condicionado ao consumo do termopar mais próximo do bloco de carbono. Este fenômeno ocorre por vezes de maneira brusca, conforme observado naquela ocasião.

A etapa de corte iniciou às 23h40min de 16/12/2018, sendo, na sequência, necessário o uso de oxigênio diretamente no furo de gusa. Às 00h10min de 17/12/2018 (30 min após o corte) o gusa produzido inicialmente correu no canal principal, dando indícios de êxito do processo de aquecimento. A continuidade de elevação da produção atrelada ao início de abertura de ventaneiras teve como premissa a abertura da primeira corrida, que ocorreu na área de corrida 1 após 3 h e 50 min do corte da lança. Diante das pré-condições planejadas deu-se início ao processo de abertura de ventaneiras, logicamente respeitando o intervalo para abertura e as premissas adotadas na fase de planejamento. A abertura das quinze ventaneiras preparadas com copo cerâmico ocorreu dentro das 81 h planejadas (Figura 12).

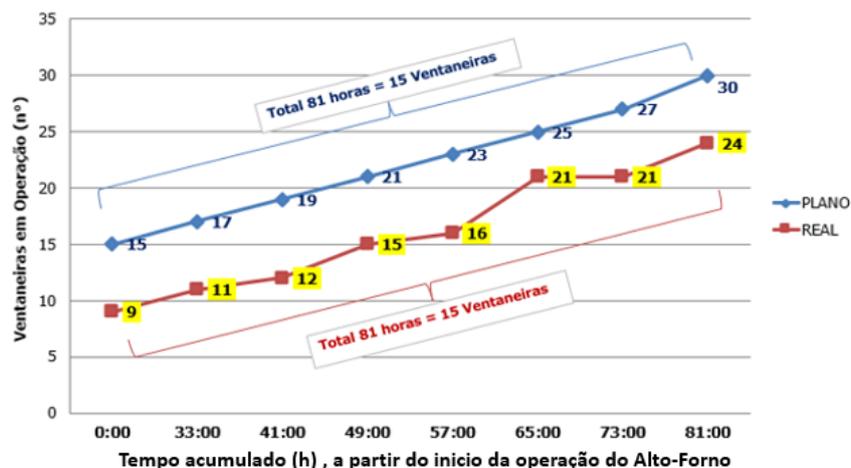


Figura 12. Evolução da abertura das ventaneiras em relação ao plano.

Para a abertura das seis ventaneiras adicionais, fechadas com massa de ventaneira, foi necessária parada do alto-forno para preparação, análoga as outras preparadas para abertura com o forno em operação. A curva de elevação da produção durante todo o processo é demonstrada na Figura 13, pela qual se podem observar os

marcos principais com as paradas para preparação e troca de ventaneiras queimadas. Estes distúrbios foram diretamente atrelados ao bloqueio de ventaneiras por material refratário, oriundo da injeção de massa no costado dos *staves* e o aquecimento deficiente do cadinho, em consequência da operação de somente uma lança de oxi-gás.

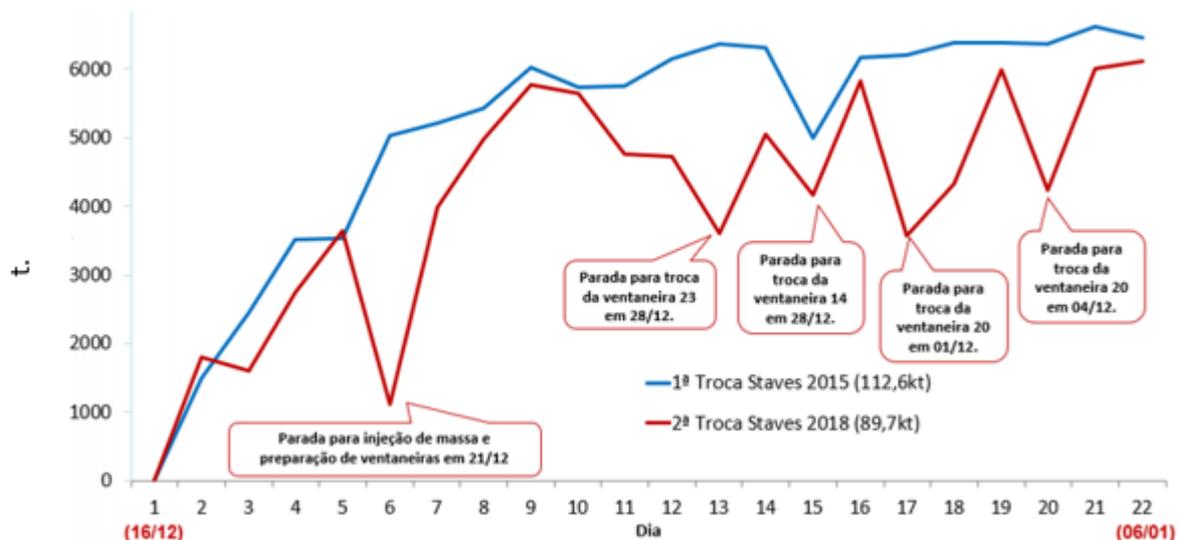


Figura 13. Evolução da produção durante o processo de retorno operacional.

4 CONCLUSÃO

O desempenho de um alto-forno está alicerçado no tripé longevidade (anos) *versus* produtividade acumulada *versus* produtividade média em sua campanha. Cada vez mais a busca da excelência operacional está alinhada com produção e custos, os quais, em se tratando de alto-forno, são resumidos em consumo de combustíveis e carga metálica.

O desafio do prolongamento da atual campanha no Alto-Forno 3 da Usiminas de Ipatinga, mantendo-se sua competitividade, tem exigido ações em diversas áreas. Nesse contexto, a realização da 2ª troca de *staves* foi fundamental para a manutenção de seu desempenho.

Problemas operacionais, como aqueles advindos da lança de pré-aquecimento do cadinho e da projeção de massa entre os *staves* e a carcaça são lições aprendidas, que garantem acertos futuros. Além disso, são oportunidades para o desenvolvimento de contingências, aprimorando as técnicas utilizadas e superando os desafios.

REFERÊNCIAS

- 1 FERNANDES, M. V.; ROCHA, L. R. C.; CARVALHIDO, A. C.; MARTINS, H. M. Competitividade e Longevidade – Os Desafios do Alto-Forno 3 da Usiminas em sua 4ª Campanha. 47º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 5º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, ABM Week, SP-Brasil, 2017.
- 2 Usinas Siderúrgicas de Mina Gerais S.A. Usiminas, DISPOSITIVO E MÉTODO PARA BLOQUEIO E DESBLOQUEIO DE VENTANEIRAS EM ALTOS FORNOS, BR 10 2016 004655 6