

## AUMENTO DA ENERGIA DO GÁS BOF\*

*Francis Welington Moraes da Cruz<sup>1</sup>  
Roberto Vilmar Formage<sup>2</sup>  
Klinger de Lima Alexandre<sup>3</sup>  
Gleudson Peter Machado Marques<sup>4</sup>  
Herbert de Assis Castro Filho<sup>5</sup>  
Alex Ferreira dos Santos<sup>6</sup>*

### Resumo

O sistema de despoeiramento primário da Aciaria da thyssenkrupp CSA é um equipamento complexo utilizado durante o sopro no conversor para captação, limpeza e resfriamento dos gases. Estes gases são indiretamente resfriados em uma caldeira de recuperação de calor quase vertical de grande altura. Em seguida passa por resfriamento direto (resfriador evaporativo) com injeção de água e vapor, onde há uma decantação das partículas maiores. Em seguida os gases penetram no precipitador eletrostático, onde é retirada quase a totalidade do pó restante. Um ventilador de grande potência faz a exaustão destes gases, através da caldeira, resfriador evaporativo e precipitador eletrostático, para em seguida comprimi-los para a chaminé ou para o último resfriamento dos gases antes do envio para o gasômetro. A chaminé possui um queimador piloto que queima o monóxido de carbono (CO) transformando-o em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Do gasômetro, os gases podem ser fornecidos para outras unidades da usina onde é consumido como combustível. O objetivo deste trabalho foi aumentar a energia do gás BOF (Basic Oxygen Furnace), através de um conjunto de ações, visando à redução de emissão de gás CO<sub>2</sub>, redução de consumos de gás natural e aumento da geração de energia.

**Palavras-chave:** Aciaria; Recuperação de gás; Despoeiramento primário.

### IMPROVE BOF GAS RECOVERY

#### Abstract

The primary dedusting system of the thyssenkrupp CSA Steel Melt Shop is a complex equipment used during blowing in the converter for capturing, cleaning and cooling the gases. These gases are indirectly cooled in an almost vertical, high-altitude heat recovery boiler. After it goes through direct cooling (evaporation cooler) with injection of water and steam, where there is a decantation of the larger particles. Thereafter the gases enter the electrostatic precipitator, where almost all of the remaining powder is withdrawn. A high-power fan exhausts these gases through the boiler, evaporative cooler and electrostatic precipitator, and then compresses them to the Flare stack or to the final cooling of the gases before being sent to the gasometer. The Flare stack has a pilot burner that ignites carbon monoxide (CO) to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). From the gasometer, gases can be supplied to other plant units where it is consumed as fuel. Therefore, the objective of this work is to increase the energy of the recovered BOF (Basic Oxygen Furnace) gas, through a set of actions, aiming reducing CO<sub>2</sub> gas emission, reducing natural gas consumption and increasing power generation.

**Keywords:** Steel Melt Shop; Gas recovery; Primary dedusting.

<sup>1</sup> Eng. de Produção, Bacharel, Eng. de Processos, Aciaria, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Eng. Ambiental, Bacharel, Eng. Especialista de Equipamentos Ambientais, Engenharia, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Eng. Elétrico, Bacharel, Eng. de Manutenção Elétrica, Aciaria, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>4</sup> Eng. de Controle e Automação, Bacharel, Técnico Especialista em Instrumentação, Aciaria, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>5</sup> Eng. de Controle e Automação, Bacharel, Eng. de Automação, Aciaria, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>6</sup> Eng. de Produção, Bacharel, Eng. de Processos, Aciaria, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

## 1. INTRODUÇÃO

A aciaria é a unidade da thyssenkrupp CSA (TKCSA) destinada a transformar ferro gusa (5,3 Mtpa; produzido nos altos fornos) e sucatas de aço (adquiridas de terceiros e/ou geradas internamente) em aços (5,2 Mtpa) de diferentes tipos. A produção do aço na TKCSA ocorre através do refino do gusa, que compreende a oxidação controlada e retirada das impurezas presentes no gusa líquido e na sucata. O refino do gusa compreende duas etapas:

Refino primário: Consiste em duas estações de tratamento de dessulfuração na panela de gusa e em dois conversores LD (Linz-Donawitz) com capacidade de 340 toneladas, que através da injeção de oxigênio e gases inertes que reagirá com o carbono presente gerando gases de Aciaria (BOF) contendo compostos de carbono (CO e CO<sub>2</sub>).

Refino secundário: Realizado fora dos conversores temos três estações de tratamento, dois Desgaseificadores RH (Ruhrstahl-Heraeus) e um AHF (Aluminium Heating Facility), aonde têm as funções de controle da temperatura (aquecimento ou resfriamento), controle das inclusões, desgaseificação, descarburação, desoxidação, homogeneização, ajuste da composição química, formação de escória, medição de temperatura e amostragem do aço líquido na panela.

O projeto para aumentar a energia do gás BOF recuperado concentrou as ações na etapa do refino primário no processo de resfriamento, limpeza e recuperação de gases durante o sopro nos conversores.

### 1.1 Objetivo do trabalho

Aumentar a energia do gás BOF recuperado através de varias ações para melhorar os índices comparados aos resultados do ano de 2015 até Março de 2016, para refletir na redução de custo operacional e redução dos gases de efeito estufa.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O refino do aço nos conversores gera gases que são removidos por um ventilador de tiragem induzida e forçada com capacidade de sucção de 300.000 Nm<sup>3</sup>/h e controlado por meio de um VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) dependendo da fase do conversor. Na fase de sopro, a velocidade do ventilador é controlada continuamente em função da geração de gás. A velocidade do ventilador é ajustada de tal modo que a pressão na coifa seja mantida ligeiramente abaixo de zero Pascal (Pa). Em todas as demais fases do convertedor, a velocidade do ventilador segue um ponto de regulagem fixo pré-definido. Logo, as ações se concentraram no despoeiramento primário durante o sopro, aonde foi necessário rever a periodicidade da calibração do instrumento de pressão da coifa, revisão do modelo teórico de vazão de gases e infiltração de ar.

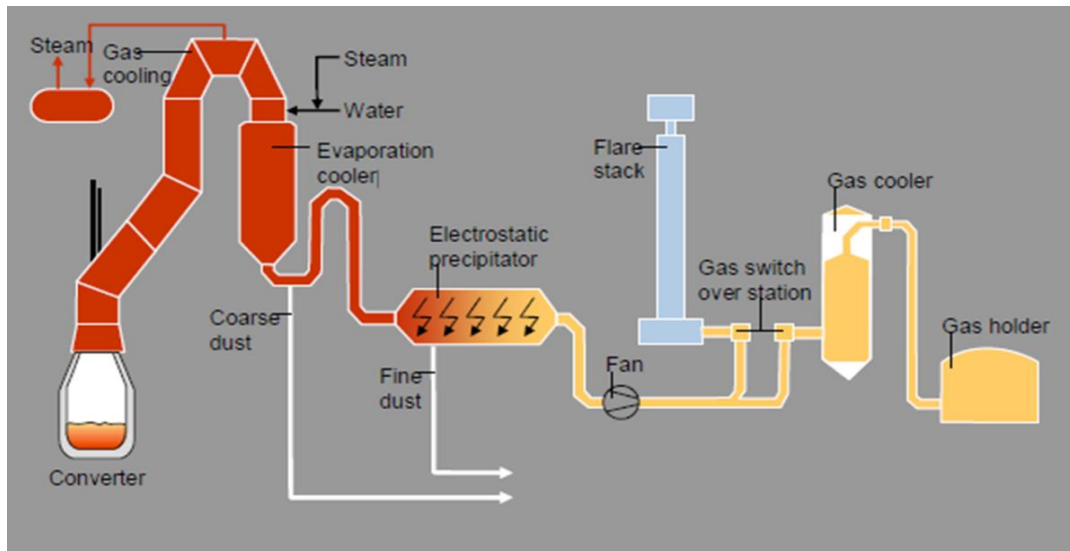


Figura 1. Despoejamento primário.

## 2.1 Analisadores de gases e confiabilidade de medição

No despoejamento primário há dois analisadores de gases para cada conversor, o primeiro analisador realiza a medição dos seguintes gases (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e Ar), está localizado na parte da caldeira e tem como objetivo principal direcionar o modelo de sopro para o acerto da composição química do aço, o segundo analisador realiza a medição dos respectivos gases (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>) e tem a função de monitorar os gases a serem recuperados para o gasômetro.

Para garantir a confiabilidade na medição foi elaborado um plano de calibração quinzenal para os quatro analisadores de gases, pois através do resultado da composição dos gases e do volume total de gás seco recuperado podemos calcular a energia. A figura abaixo demonstra a fórmula usada.

### Fórmula:

$$\text{Energia (GJ/t)} = \frac{(\text{CO [m}^3\text{]} * \text{PC,CO [GJ/m}^3\text{]}) + (\text{H}_2 \text{ [m}^3\text{]} * \text{PC,H}_2 \text{ [GJ/m}^3\text{]})}{\text{Aço líquido (t)}}$$

**Nota:** PC,CO = Poder calorífico inferior do CO = 0,012633 [GJ/m<sup>3</sup>]

PC,H<sub>2</sub> = Poder calorífico inferior do H<sub>2</sub> = 0,010741 [GJ/m<sup>3</sup>]

Figura 2. Fórmula de cálculo de energia do gás.

## 2.2 Elaboração do relatório de recuperação de gás BOF

Este relatório coleta os dados “online” do supervisor através do sistema de Nível 2 da Aciaria e transmite para o sistema intranet da TKCSA, ele foi elaborado para aumentar a confiabilidade do banco de dados e análise estática da recuperação de gás.

ThyssenKrupp CSA Siderúrgica do Atlântico

Relatório de Recuperação de Gases

#	Letra	Corrida	Sopro		Recuperação de Gases		Sucata(t)	Gusa(t)	Carga Metálica				Nível GH (%)	Média H2 - GH (%)	Média N2 - GH (%)	Média CO2 - GH (%)	Média CO - GH (%)	PCI teorico (Kj/Nm³)	PCI ECC (Kj/Nm³)	
			Início	Fim	Início	Fim			Carbon o (%)	Carbóno (kg/carga(g))	Si(%)	Peso real do aço (t)								
2	D	364367	16/04/17	0:24:49	0:43:22	0:28:22	0:42:25	18,65	346,50	4,44	15283,19	0,38	337,90	48,40	1,85	13,55	16,91	64,98	8408,31	Nao_Possui
4	D	364377	16/04/17	1:25:42	1:45:34	1:32:14	1:44:09	26,60	357,30	4,37	15507,28	0,33	355,80	57,15	1,42	14,49	15,93	66,25	8522,79	Nao_Possui
6	D	364387	16/04/17	2:26:18	2:46:01	2:32:39	2:44:27	27,00	355,30	4,31	15207,41	0,33	359,40	61,99	1,40	13,67	15,23	67,12	8630,95	Nao_Possui
8	D	364397	16/04/17	3:26:52	3:45:19	3:32:25	3:41:48	27,70	345,70	4,32	14831,07	0,38	340,90	70,34	1,65	12,33	15,38	65,12	8405,16	Nao_Possui
10	D	364407	16/04/17	4:19:49	4:38:24	4:26:41	4:31:00	27,30	347,70	4,45	15367,56	0,43	350,30	81,05	1,54	10,41	20,37	62,91	8113,64	Nao_Possui
12	D	364417	16/04/17	5:25:22	5:43:45	5:31:07	5:42:43	0,00	370,00	4,50	16545,90	0,35	347,00	61,15	1,28	12,85	13,79	70,14	8998,61	Nao_Possui
14	D	364427	16/04/17	6:25:04	6:43:05	6:34:13	6:46:15	0,00	357,90	4,18	14857,39	0,29	342,80	61,00	1,68	10,73	11,19	73,44	9458,78	Nao_Possui
16	D	364437	16/04/17	7:29:32	7:46:21	7:33:11	7:45:29	0,00	351,80	4,27	14921,63	0,53	334,10	56,96	2,27	15,04	14,12	67,67	8818,41	Nao_Possui
18	C	364447	16/04/17	8:26:51	8:45:11	8:30:40	8:44:10	27,40	337,60	4,34	14549,93	0,33	339,70	48,68	1,57	12,99	16,83	67,09	8645,50	Nao_Possui
20	C	364457	16/04/17	9:25:00	9:51:09	9:30:27	9:39:19	27,45	337,00	4,72	15804,92	0,86	338,30	57,92	1,56	14,16	21,74	56,72	7332,68	Nao_Possui
22	C	364467	16/04/17	10:26:08	10:44:31	10:35:12	10:42:48	27,70	333,20	4,41	14591,58	0,66	341,60	31,46	1,39	12,63	15,42	67,62	8692,19	Nao_Possui
24	C	364477	16/04/17	11:17:59	11:36:58	11:23:23	11:34:36	27,65	342,40	4,27	14514,52	0,70	353,20	47,09	2,09	13,53	15,27	67,28	8725,48	Nao_Possui
26	C	364487	16/04/17	12:07:18	12:26:28	12:14:03	12:23:05	27,25	345,40	4,47	15335,24	0,68	347,10	69,61	2,13	10,39	19,94	70,00	9073,52	Nao_Possui
28	C	364497	16/04/17	13:23:40	13:42:24	13:27:50	13:41:11	27,50	338,00	4,47	15004,82	0,38	345,90	60,49	1,75	15,59	17,05	63,58	8219,77	Nao_Possui
29	C	364507	16/04/17	14:14:57	14:33:44	14:23:44	14:27:35	27,45	339,60	4,47	14911,22	0,46	335,70	79,54	1,53	10,42	17,53	65,87	8486,67	Nao_Possui
31	C	364517	16/04/17	16:08:57	16:27:56	16:14:22	16:26:58	27,25	330,60	4,52	14844,11	0,52	330,00	24,69	1,63	12,49	15,95	67,05	8646,14	Nao_Possui
33	C	364527	16/04/17	17:26:24	17:45:29	17:30:50	17:44:01	27,55	341,70	4,49	15033,92	0,54	344,60	28,37	1,66	14,15	17,33	63,82	8241,44	Nao_Possui
35	C	364537	16/04/17	18:32:38	18:45:25	18:36:11	18:43:55	0,00	203,20	4,55	9141,15	0,37	340,20	26,82	2,46	17,98	13,39	66,88	8714,11	Nao_Possui
37	C	364547	16/04/17	19:45:49	20:04:30	19:49:56	20:03:31	27,25	339,50	4,69	15818,60	0,47	346,50	25,72	1,45	14,83	17,45	64,26	8286,13	Nao_Possui
39	A	364557	16/04/17	20:57:43	21:17:39	21:03:36	21:15:17	27,30	350,40	4,64	16149,68	0,39	362,90	26,90	1,75	16,03	17,23	61,73	7986,91	Nao_Possui
41	A	364567	16/04/17	21:49:45	22:09:05	21:56:19	22:07:22	26,65	341,60	4,54	15402,65	0,44	351,10	50,35	1,54	14,82	15,56	65,66	8460,44	Nao_Possui
43	A	364577	16/04/17	22:46:26	23:04:26	22:50:08	23:03:08	0,00	361,10	4,56	15693,82	0,34	341,10	63,46	2,10	11,87	13,99	69,54	9011,49	Nao_Possui
1	D	870997	16/04/17	23:56:56	0:15:42	0:01:18	0:14:35	18,05	340,80	4,45	15071,35	0,58	314,20	36,81	1,78	19,54	14,07	64,55	8346,46	Nao_Possui
3	D	871007	16/04/17	1:04:14	1:22:29	1:07:38	1:21:18	0,00	351,90	4,44	15524,02	0,48	334,50	45,22	1,87	18,51	14,83	64,65	8388,91	Nao_Possui
5	D	871017	16/04/17	2:04:11	2:29:34	2:13:10	2:25:01	0,00	351,70	4,45	15550,74	0,51	333,00	64,68	2,01	20,75	16,27	60,82	7900,82	Nao_Possui
7	D	871027	16/04/17	3:14:02	3:31:34	3:17:16	3:30:10	0,00	357,40	4,48	15911,37	0,47	333,80	44,31	2,33	18,05	15,11	64,38	8385,26	Nao_Possui
9	D	871037	16/04/17	4:04:42	4:22:39	4:08:08	4:21:16	19,90	342,90	4,52	15396,29	0,50	340,60	58,42	1,50	16,32	16,01	7799,79	Nao_Possui	
11	D	871047	16/04/17	4:58:20	5:16:34	5:01:50	5:15:08	20,15	347,20	4,49	15277,31	0,43	345,50	52,76	1,75	18,87	15,30	64,00	8273,46	Nao_Possui
13	D	871057	16/04/17	6:01:28	6:20:49	6:05:37	6:19:37	28,10	356,90	4,19	14807,06	0,23	350,50	55,18	1,50	17,55	14,99	65,85	8480,78	Nao_Possui
15	D	871067	16/04/17	6:49:05	7:08:39	6:55:16	7:05:35	27,35	342,59	4,47	15208,47	0,60	350,50	65,52	1,44	16,94	17,22	64,26	8273,61	Nao_Possui

Figura 3. Relatório de recuperação de gases.

### 2.3 Monitoramento por câmeras da distância entre a saia e boca do conversor durante o sopro

Foi instalada câmeras para aumentar o acerto da distância entre a boca do conversor e saia durante o sopro, pois o controle anterior era feito somente através da altura informada pelo sistema hidráulico da saia e através do monitoramento por gráfico da variação da pressão da coifa, portanto o controle de pressão e vazão de gases durante o sopro ficou mais estável devido o operador da caldeira e despoejamento ajustar de forma mais precisa a distancia entre a saia e a boca do conversor, sendo assim essencial para determinar a queima e variação dos gases durante o sopro.

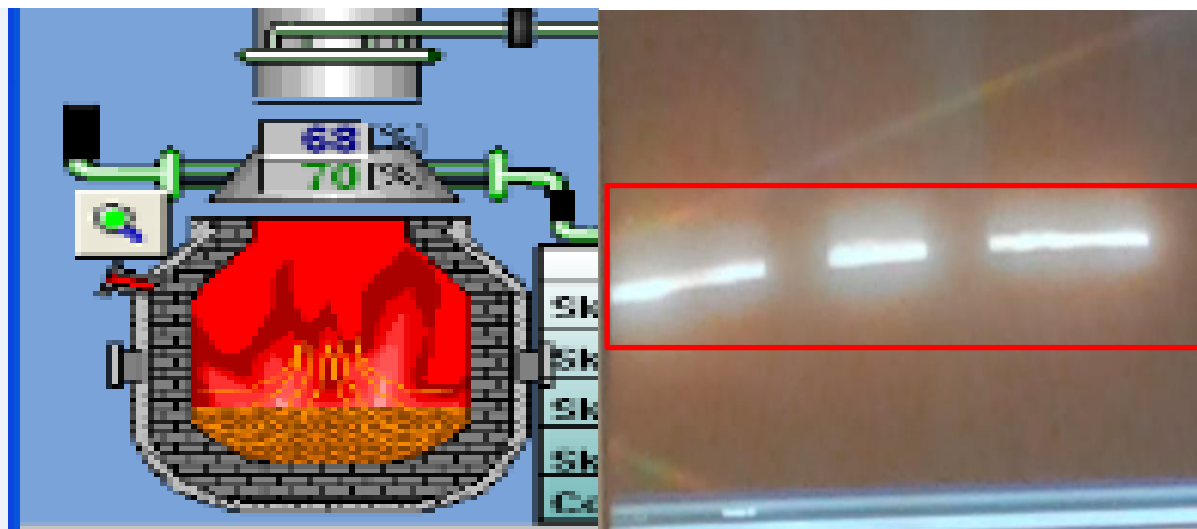


Figura 4. Monitoramento da distancia entre a boca do conversor e a saia.

### 2.4 Confiabilidade na medição de pressão dos gases

O instrumento de pressão da coifa é medida por pressão manométrica, ou seja, é a pressão medida em relação à pressão atmosférica, tomada como unidade de referência. Durante o trabalho foi necessário definir a faixa de controle adequada e a periodicidade de calibração para evitar os erros de medição e obter maior controle de pressão dos gases durante a etapa de sopro.

\* Contribuição técnica ao 38º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 32º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 06 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil.

## 2.5 Controle de vazão de gases durante o sopro

O controle de vazão de gases possui um modelo teórico de vazão de gás gerado durante o sopro para prever a variação de velocidade do ventilador. A curva real da vazão de gases e a curva teórica havia um erro de aproximadamente 5% para mais ou para menos, o que causava uma combustão maior dos gases ou emissão fugitiva, portanto foi necessária a revisão do cálculo da vazão dos gases, utilizando como base: oxigênio soprado (Nm<sup>3</sup>/min), a injeção de água (m<sup>3</sup>/h), vapor (t/h) usado no resfriador evaporativo e a pelota (kg/min) utilizada durante o processo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios da concentração de CO, volume de gás seco recuperado e energia antes do projeto eram respectivamente: 59,7%, 87,17 m<sup>3</sup>/t aço líquido e 0,691 GJ/ t aço líquido no período de Janeiro de 2015 até Março de 2016.

Após a conclusão do trabalho foi possível verificar uma melhora nos resultados comparados com o período de Abril de 2016 até Março de 2017.

As ações para reduzir a infiltração do ar apresentaram um ótimo desempenho, o que proporcionou um aumento médio de 3,48% na concentração de CO recuperado por corrida e redução no desvio padrão.

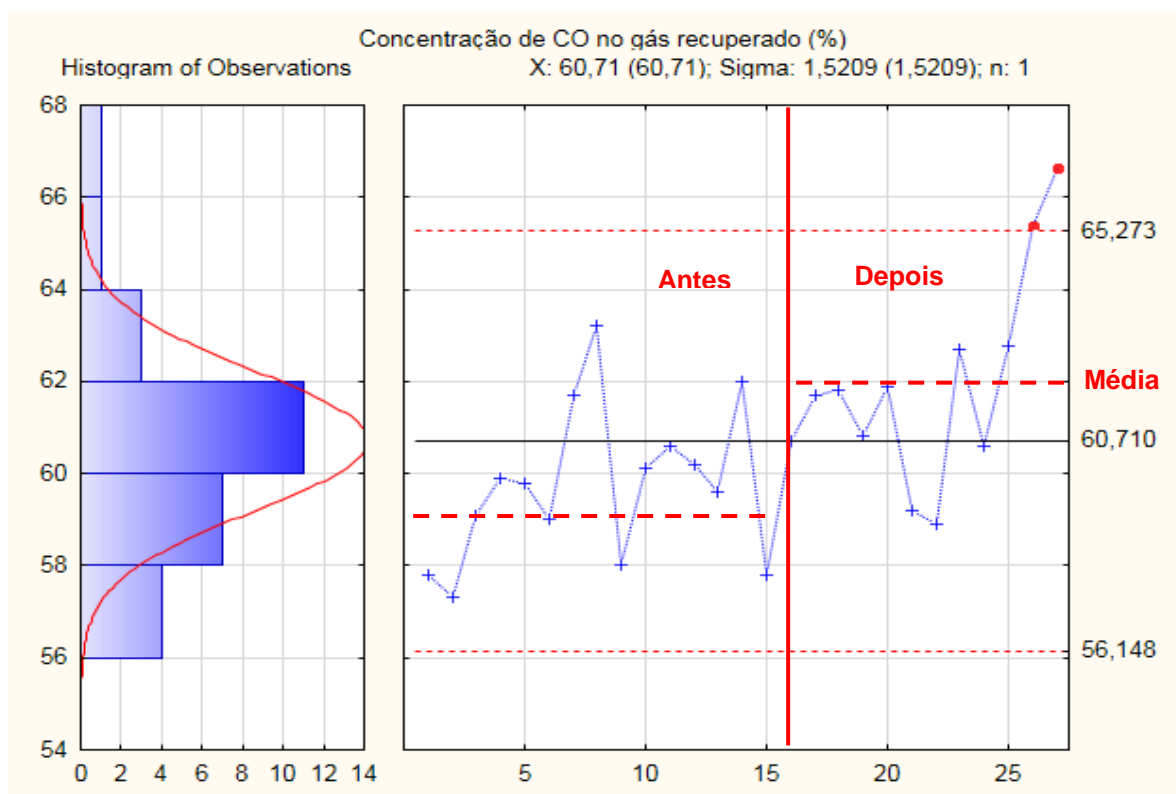


Figura 5. Concentração de CO no gás recuperado no ano de 2015 até Março de 2017.

O resultado do volume de gás seco recuperado foi impactado pelo baixo consumo de gás BOF no complexo da TKCSA, portanto não houve melhoras no resultado.

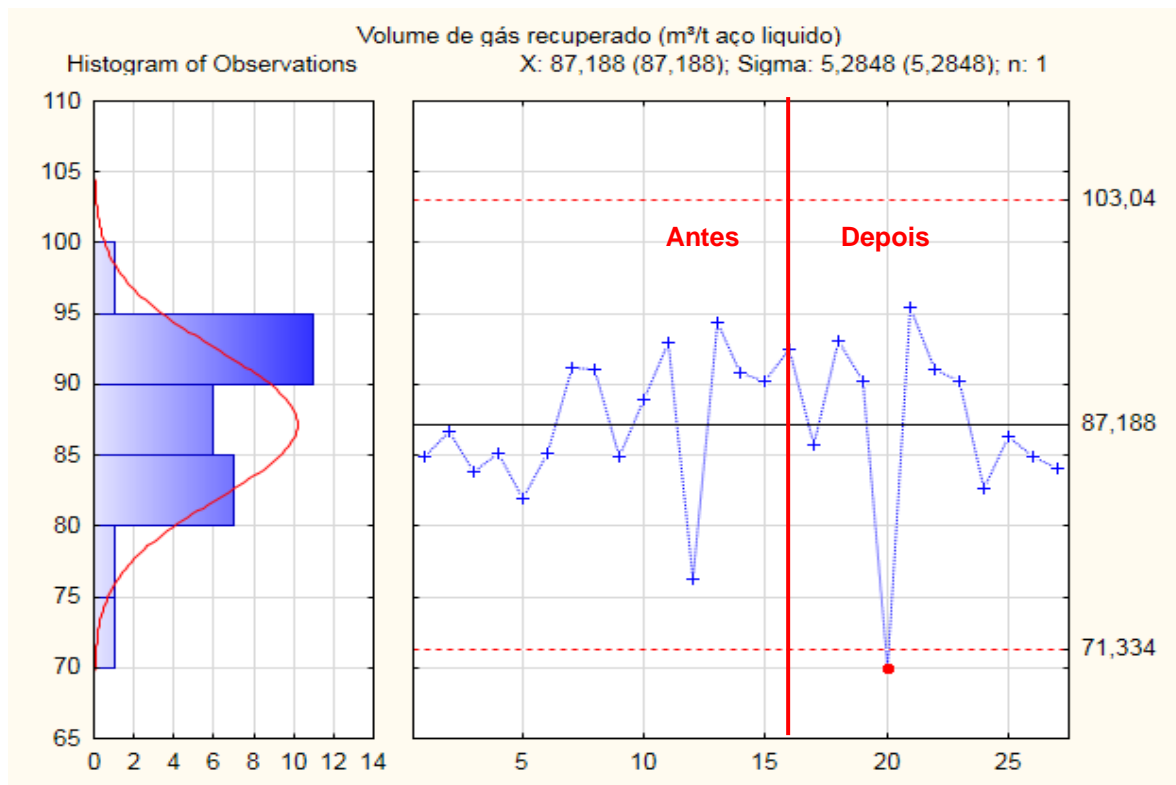


Figura 6. Volume de gás seco recuperado no ano de 2015 até Março de 2017.

O reflexo do aumento da concentração de CO são impactantes no resultado final da energia do gás BOF, onde houve um aumento de 2,12%, vale ressaltar que a variação no volume de gás seco recuperado não impactou de forma positiva como esperada.

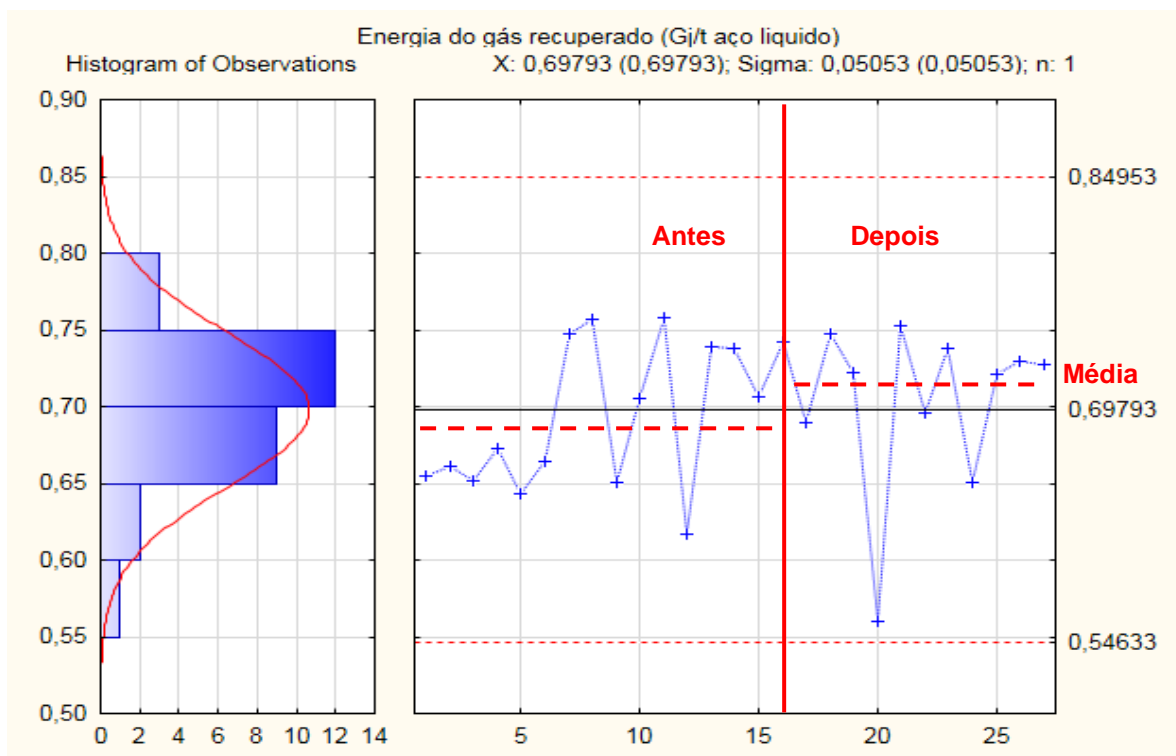


Figura 7. Energia do gás recuperado no ano de 2015 até Março de 2017.

No contexto ambiental, as ações desenvolvidas foram de extrema importância para a redução dos gases de efeito estufa e das ocorrências de emissões fugitivas da Aciaria, pois com maior estabilidade do controle de pressão e de vazão de gases durante o sopro foi possível verificar uma redução expressiva nos números de ocorrências de emissões fugitivas.

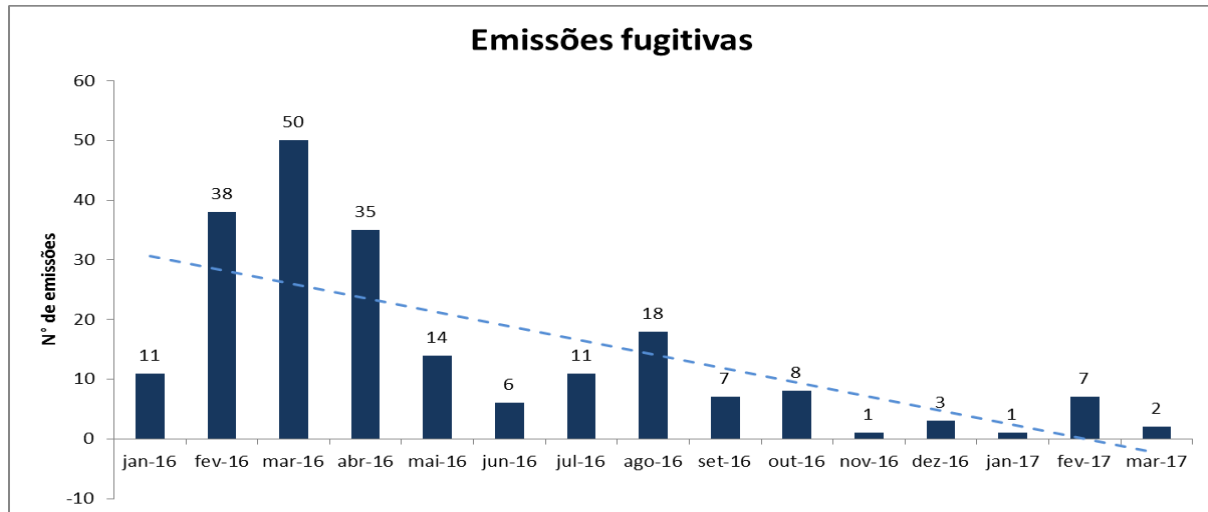


Figura 8. Emissões fugitivas.

#### 4. CONCLUSÃO

Através das melhorias desenvolvidas foram atingidos os desafios propostos e o resultado que esperado. Foi observado com base nos dados o aumento na qualidade do gás BOF recuperado, redução na emissão de gás efeito estufa, maior controle de pressão e vazão de gases durante a etapa do processo de sopro e redução de emissões fugitivas.

Entretanto, como todo ciclo de melhoria, continuamos buscando iniciativas para melhorar e aperfeiçoar cada vez mais o processo de recuperação de gás da Aciaria.

#### Agradecimentos

Agradecemos aos operadores de Caldeira e Despoeiramento da Aciaria da TKCSA, pelas ideias sugeridas, participação no trabalho e pela contribuição técnica.

Agradecemos ao Gerente de Produção Leonardo Martins Demuner e ao Coordenador de Controle de Processos Heber Vieira Segundo, pelo desafio proposto a nós e a confiança depositada.

Agradecemos ainda a todos aqueles que contribuíram com sua experiência profissional para realização deste trabalho, sejam da área de operação ou da área de manutenção da Aciaria.

#### REFERÊNCIAS

- 1 ACGIH, Industrial Ventilation Committee. Industrial Ventilation A Manual of Recommended Practice for Design. Edição 23<sup>a</sup>. Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®), 1998.
- 2 CARVALHO, Daniel. BOF blowing process challenges for high rate of iron ore pellet addition - Process development and results at TKCSA. EUROPEAN STEEL TECHNOLOGY AND APPLICATION DAYS 2017 - ESTAD 2017.2017; p.6-7.