



COMPENSAÇÃO DE SOPRO NO AF#3 DURANTE AS MANOBRAS DOS REGENERADORES*

Alcides José de Lucena Silva¹

Paulo Roberto Fusco²

Milson de Andrade Júnior³

Rafel Lioji Kogake⁴

Resumo

O objetivo deste trabalho é demonstrar o desenvolvimento da compensação de sopro no Alto-Forno 3 da CSN durante as manobras dos regeneradores para o ciclo de sopro com o incremento da vazão do ar soprado vindo do moto-soprador. Para a realização deste trabalho utilizou-se a metodologia DMAIC. Na apresentação do resultado final serão demonstrados valores alcançados em torno de 60% de redução da pressão da base do alto-forno com o desenvolvimento e por consequência, um aumento de sua produtividade.

Palavras-chave: Automação; Alto-forno; Regenerador; Moto-soprador.

BLAST FURNACE 3 COMPENSATION OF BLOWING DURING OPERATIONS ON THE STOVES

Abstract

The objective of this work is to demonstrate the development of compensation blowing in Blast Furnace 3 CSN during the maneuvers on stoves to the blowing cycle with increment of the air flow coming from the motor blower. For this work we used the DMAIC methodology. In the final result shown will be presented values achieved around 60% of the reduction in pressure from the base of the blast furnace with the development and consequently, an increase their productivity.

Keywords: Automation; Blast furnace; Stoves; Moto-blower.

¹ *Engenheiro Eletricista, bacharel, engenheiro de desenvolvimento senior, GGAF/GMG, CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

² *Engenheiro Mecânico, bacharel, engenheiro especialista, GGGAF/GAF, CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

³ *Engenheiro Eletrônico, bacharel, engenheiro de manutenção sênior, GGCE/GGE, CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

⁴ *Engenheiro de Produção, bacharel, engenheiro de produção junior, GGCE/GGE, CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



1 INTRODUÇÃO

O Alto-forno 3 da CSN produz cerca de 10.000 tgusa/dia. Ele possui quatro regeneradores operando em sequência automática. Os regeneradores são responsáveis por regenerar a energia entálpica do gás de alto-forno, aquecendo o refratário no ciclo de gás, e soprando para alto-forno no ciclo de sopro. A temperatura do ar frio vinda do moto-soprador é de cerca de 150°C. Após a passagem pelo regenerador sua temperatura é elevada para cerca de 1350°C sendo injetada na câmara de mistura junto com o ar frio. Assim, a temperatura de sopro para o alto-forno pode ser controlada.

A cada ciclo de sopro que ocorre aproximadamente em intervalos de 50 minutos, o Alto-forno 3 sofre uma redução na sua marcha operacional devido ao desvio de fluxo do ar soprado para a equalização do regenerador que entrará em sopro. O tempo de equalização de um regenerador é de aproximadamente de 8 minutos. Este fenômeno gera entre outros distúrbios no processo: redução da oferta de injeção de oxigênio, queda da pressão da base e atraso no carregamento.

O presente trabalho vem demonstrar o desenvolvimento da compensação de sopro no Alto Forno 3 durante as manobras dos regeneradores. No final será apresentado valores alcançados em torno de 60% de redução da pressão da base com o desenvolvimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Baseado na metodologia DMAIC é que foi desenvolvido todo o trabalho conforme ilustra a figura 1.

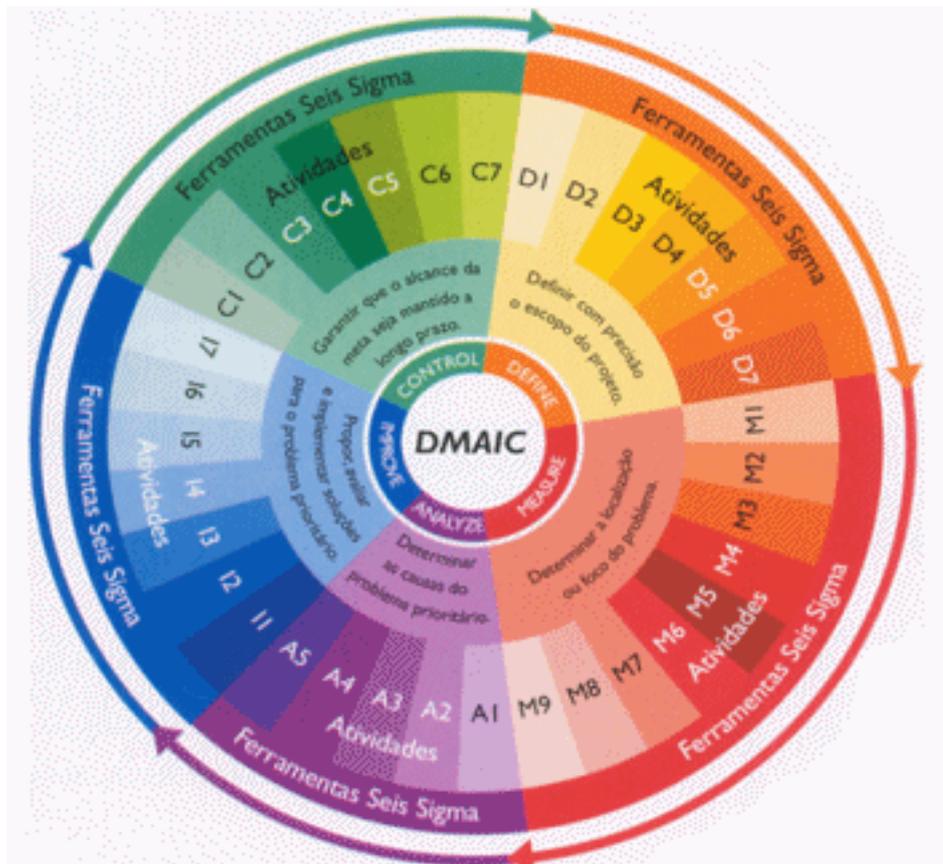


Figura 1 - Metodologia DMAIC [1].

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



2.1 Define

Na primeira etapa do desenvolvimento do trabalho, baseado no DMAIC, a etapa do *define* serão definidos claramente a meta e o escopo do projeto.

Sendo assim, o problema detectado foi a perda de produtividade do alto-forno 3 durante as manobras dos regeneradores para o ciclo de sopro.

Será utilizado como principal indicador para medir o resultado do projeto a variação de pressão do sopro na base do alto-forno 3.

O alto-forno 3 da CSN possui um excelente nível de automação desde o nível “0” até o nível “2”, com isso, existem dados confiáveis para o levantamento do histórico do problema. A figura 2 ilustra a sala de controle com algumas informações pertinentes ao processo a mostra do operador.

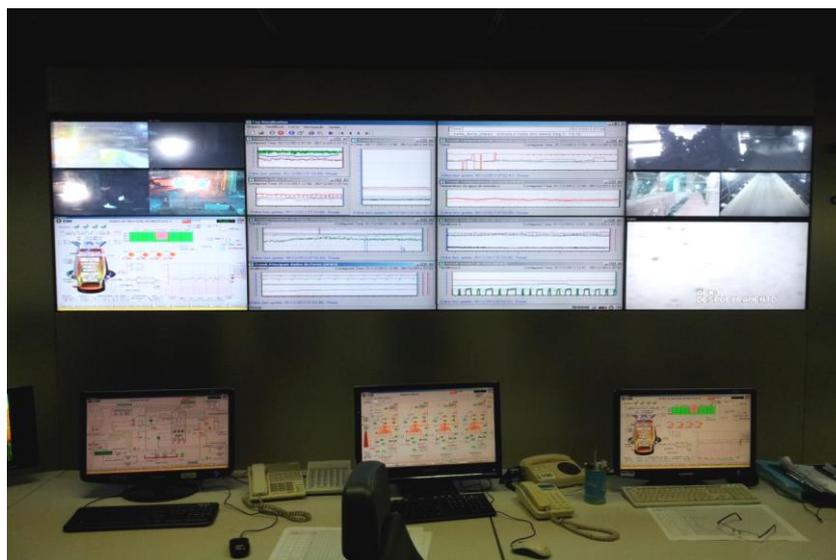


Figura 2 - Sala de controle do AF#3 [2].

Através do *software* MiniTab foi criado carta de controle, vide figura 3, e o gráfico da capacidade do processo, vide figura 4, afim de ilustrar como o indicador vem se comportando ao longo do tempo.

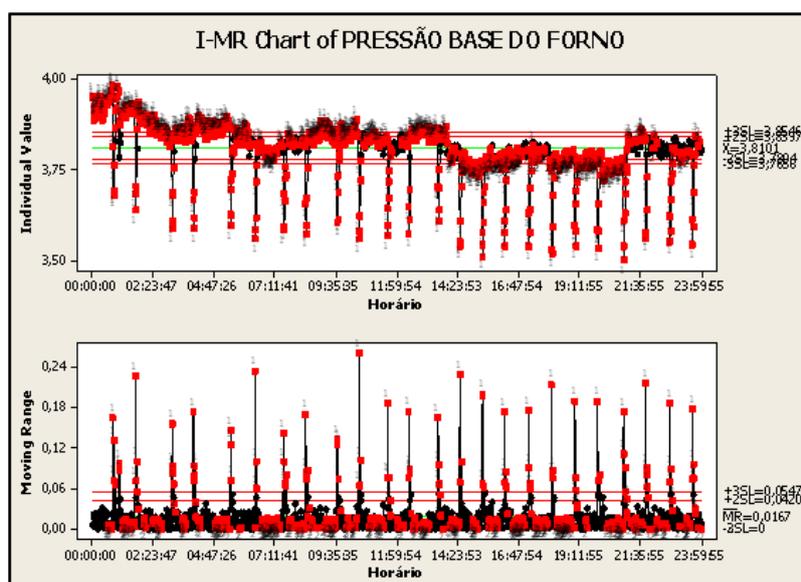


Figura 3 – Carta de controle da pressão da base do alto-forno 3 [2].

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

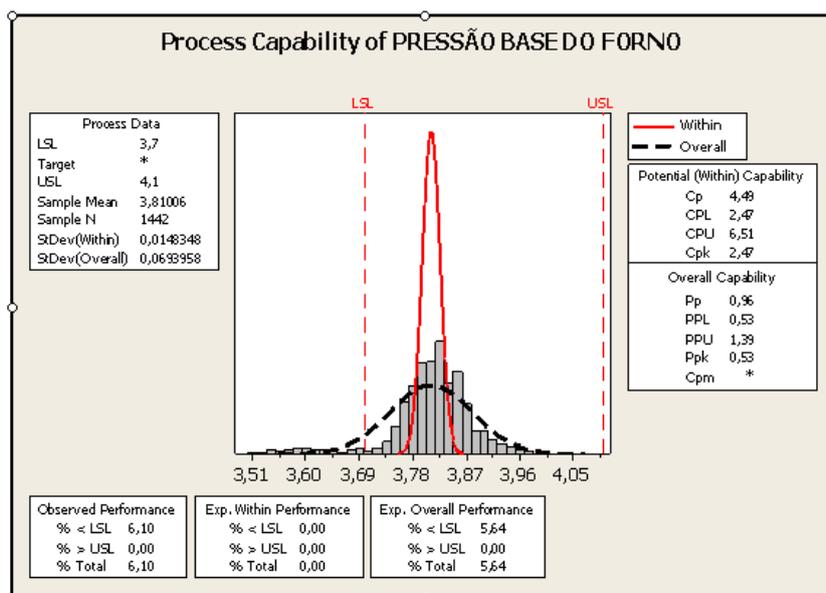


Figura 4 – Capacidade do processo da pressão da base do alto-forno 3 [2].

Reduzir a variação de pressão de sopro em 60% até março de 2013 é a meta do projeto.

Foram detectadas algumas perdas resultantes do problema, tais como: redução pontual da produção de gusa líquido, redução de oferta de gás de alto-forno e instabilidade no processo operacional.

Com o desenvolvimento do projeto será possível alcançar ganhos como:

- ➔ Intangíveis: maior estabilidade na oferta de gás de alto-forno e no processo do mesmo;
- ➔ Tangíveis: ganhos financeiros com o aumento potencial da oferta de produção de gusa líquido.

Alteração do processo de fornecimento de sopro para o alto-forno 3 com o mesmo em operação, treinamento operacional na filosofia a ser implantada e o desenvolvimento da lógica de compensação de sopro durante as manobras dos regeneradores são possíveis restrições a implantação do projeto.

O cronograma do projeto é ilustrado na tabela 1.

Tabela 1 - Cronograma do projeto

Nº	ETAPA	Prazo		2013											
		Data Inicial	Data Final	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	D
01	DEFINE	8/10/2012	15/11/2012												
02	MEASURE	16/11/2012	15/12/2012												
03	ANALYSE	16/12/2012	15/1/2013												
04	IMPROVE	16/1/2013	28/2/2013												
05	CONTROL	1/3/2013	30/5/2013												

Através da ferramenta do SIPOC, conforme ilustra a figura 5, foi demonstrado qual o principal processo envolvido.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

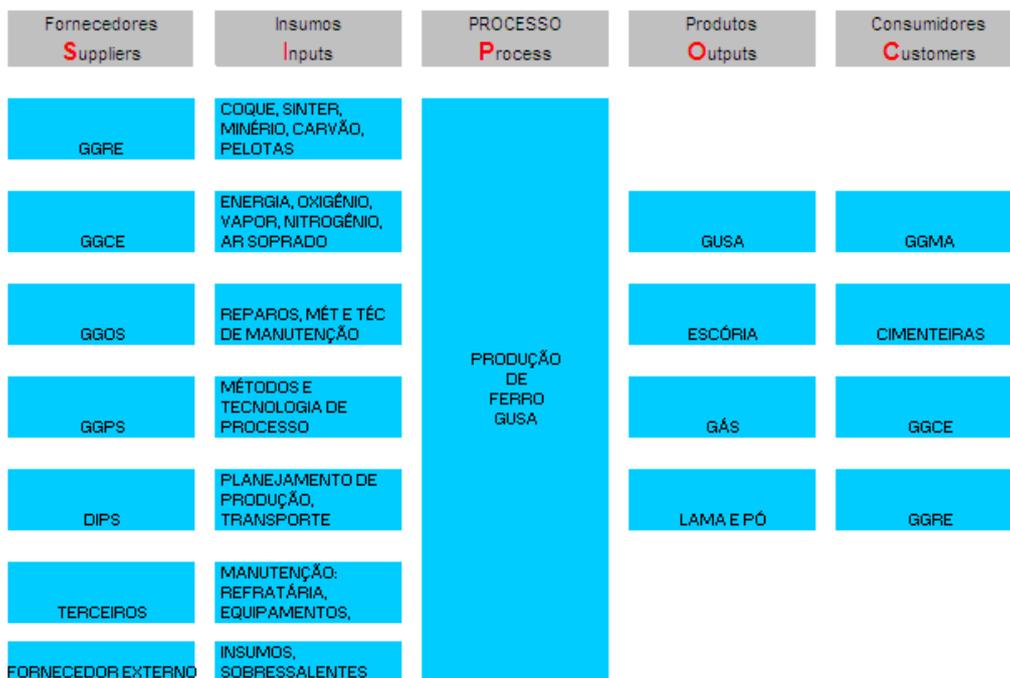


Figura 5 – SIPOC.

2.2 Measure

Na segunda etapa do desenvolvimento do trabalho, baseado no DMAIC, a etapa da *measure* o problema será focalizado.

A figura 6 ilustra a estratificação do problema.

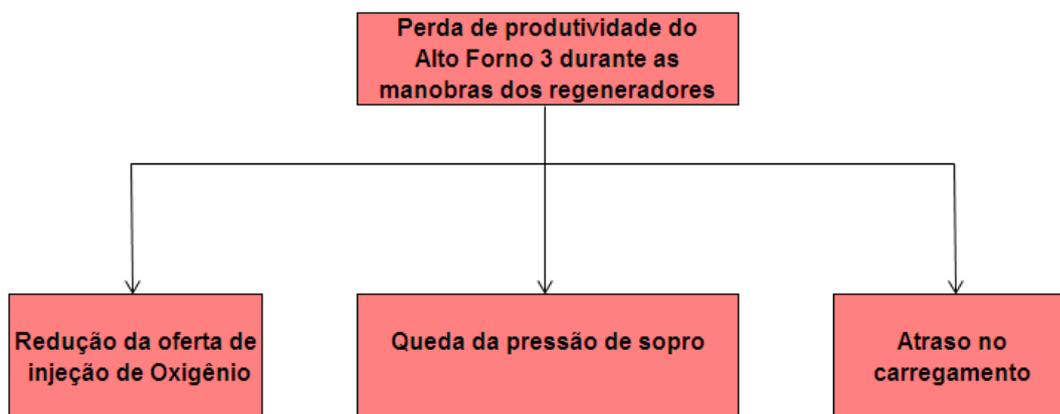


Figura 6 – Estratificação do problema.

Utilizando um gráfico de paretos, é possível identificar quais os estratos mais significativos, conforme demonstrado na figura abaixo.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

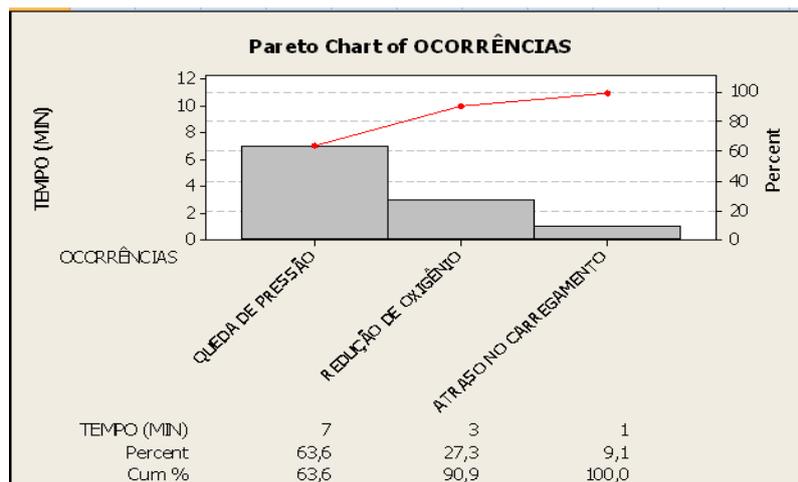


Figura 7 – Gráfico de pareto.

Ao longo do tempo, os focos se comportam de maneiras diferentes entre si. Para isto foi criado um gráfico de tendências para os dois estratos mais significativos que correspondem a quase 91% do problema.

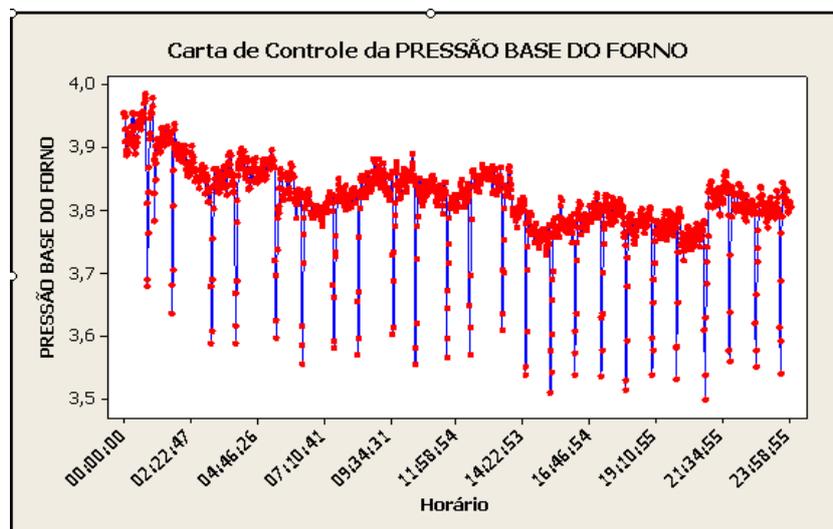


Figura 8 – Tendência da pressão do soplo.

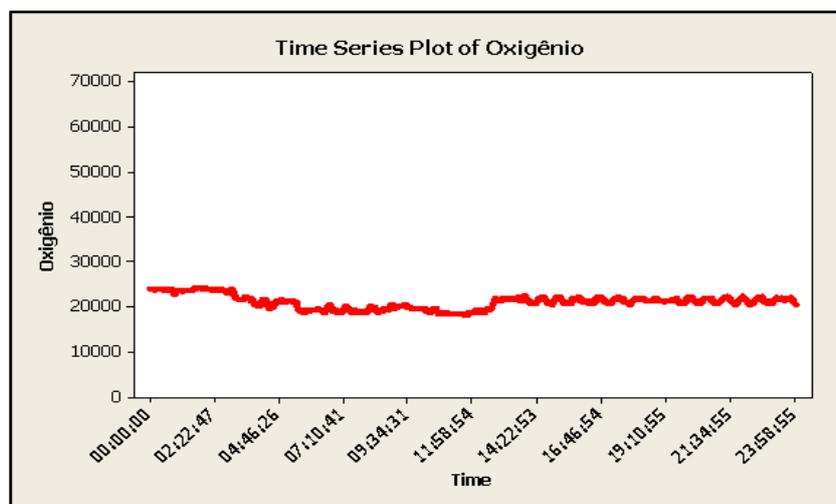


Figura 9 – Tendência do volume de oxigênio injetado no AF#3.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

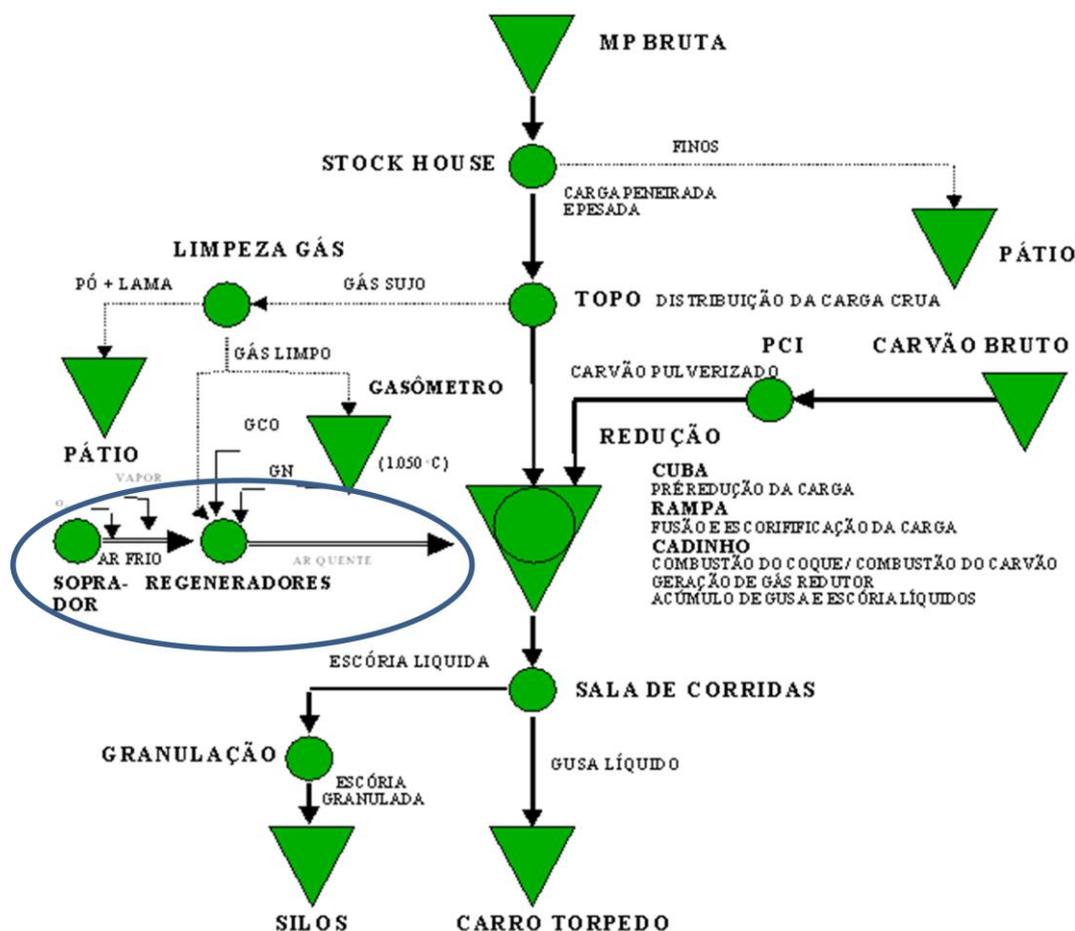


Com base na análise de variação dos focos ao longo do tempo, ilustrado nas figuras 8 e 9, pressão de sopro sofre uma variação significativa durante as manobras dos regeneradores ao contrário do volume de oxigênio injetado no alto-forno 3. É devido a este comportamento que o trabalho será focado na redução da variação da pressão.

2.3 Analyse

Nesta terceira etapa do desenvolvimento do trabalho serão determinadas as causas fundamentais do problema focado.

Utilizando a ferramenta mapa do processo foi detectado o processo gerador do problema, destacado e ilustrado na figura 10.



Fonte: CSN.

Figura 10 – Mapa do processo do AF#3

Com base no diagrama de ishikawa, foram levantadas as causas potenciais que mais influenciam o problema, vide figura abaixo.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

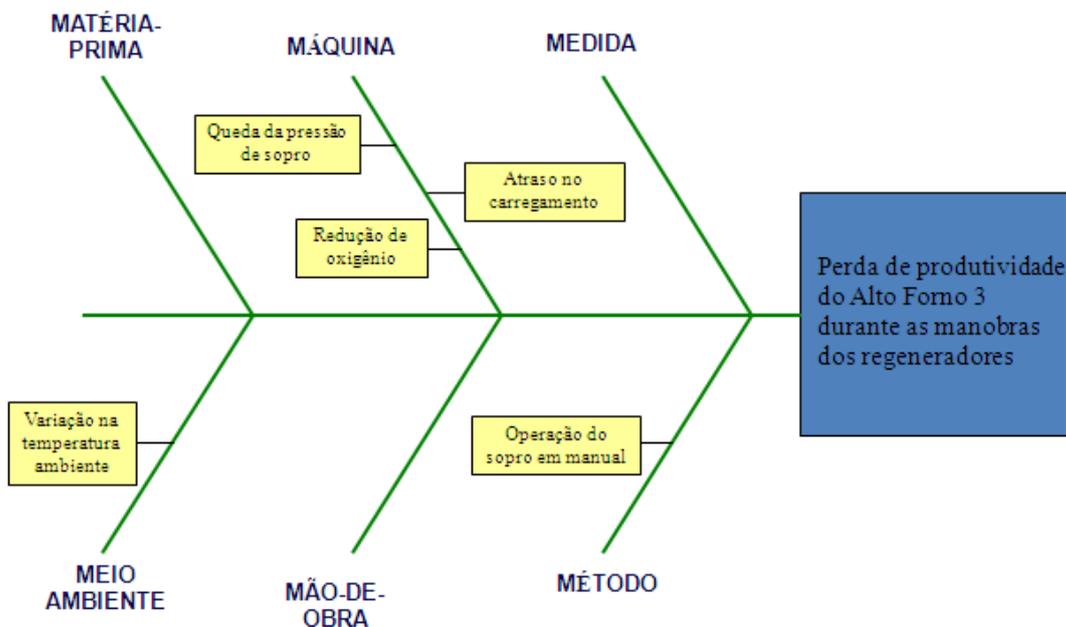


Figura 11 – Diagrama de ishikawa

Utilizando a ferramenta matriz GUT, foram priorizadas as causas potencias, conforme demonstrado na tabela 2.

Tabela 1 – Matriz GUT

Matriz GUT						
Dados						
	Descrição do Problema	Gravidade G	Urgência U	Tendência T	Resultado Total GxUxT	Grau de Prioridade
1	Queda da pressão de sopro	5	3	1	15	94%
2	Operação do sopro em manual	1	1	1	1	6%
3					0	0
4					0	0
5					0	0

As causas priorizadas foram comprovadas conforme é mostrado nas figuras 12 e 13.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

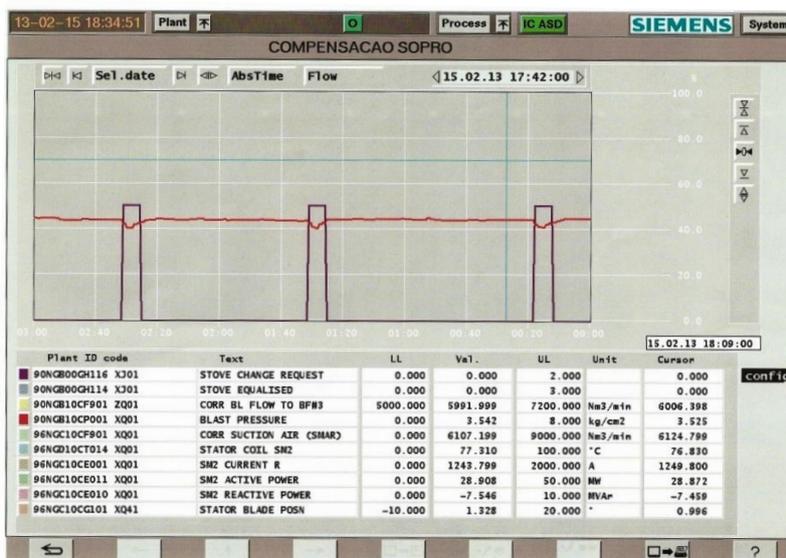


Figura 1 – Gráfico da queda de pressão de sopro.



Figura 2 – Gráfico da queda da vazão do sopro devido estar em manual o controle.

Sendo assim, as causas fundamentais para o problema é demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 – Lista das causas fundamentais

TABELA COM LISTA DAS CAUSAS FUNDAMENTAIS

FOCO 1	FOCO 2	CAUSA FUNDAMENTAL	DESCRIÇÃO DA CAUSA
X		Queda da pressão de sopro	Durante a manobra de troca de regeneradores no AF#3 ocorre a queda da pressão de sopro
	X	Operação do sopro em manual	Com a operação manual do sopro ocorrem variações da vazão e pressão de sopro em virtude das variações de temperatura ambiente

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



2.4 Improve

Nesta quarta etapa do desenvolvimento do trabalho serão propostas ideias para a eliminação das causas fundamentais e por consequência o alcance da meta do projeto.

A figura 14, utilizando o diagrama de árvore, lista soluções proposta para cada causa fundamental encontrada na etapa anterior do trabalho.

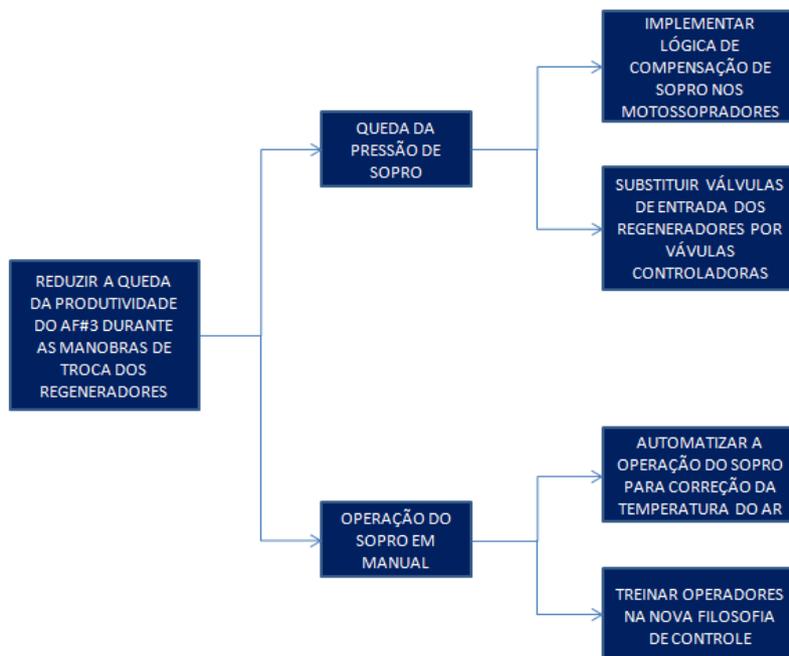


Figura 14 – Diagrama de árvore.

Foi necessária a priorização das soluções propostas, com isso, as substituições das válvulas de equalização dos regeneradores ficarão para outro desenvolvimento, vide tabela 4.

Tabela 4 – Priorização das soluções propostas

Matriz GUT

Dados						
	Descrição da Solução	Gravidade G	Urgência U	Tendência T	Resultado Total GxUxT	Grau de Prioridade
1	Implementar compensação de sopro nos motossopradores	5	3	1	15	88%
2	Alterar procedimento de operação (estabelecer operação automática quando o AF#3 estiver	1	1	1	1	6%
3	Treinar operadores do Ar Soprado na nova filosofia de controle	1	1	1	1	6%
4					0	0

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Para a implementação da compensação de sopro será necessário automatizar os motos-sopradores criando uma lógica de controle para tal, com isso, esta solução apresenta algum risco que foi analisado conforme tabela abaixo.

Tabela 5 – Análise de risco das soluções

ANÁLISE DE RISCO DAS SOLUÇÕES						
FOCO 1	FOCO 2	SOLUÇÃO PRIORIZADA	RISCO DA IMPLEMENTAÇÃO (Efeitos indesejáveis)	ANÁLISE DE RISCO		PLANO DE CONTINGÊNCIA
				PROBABILIDADE	IMPACTO	
X		Implementar compensação de sopro nos	Distúrbios na pressão de ar soprado para o AF#3	Pequena	Alto	Realizar testes manuais antes de implementar e criar mecanismos de proteção para o sistema de ar

Testes foram realizados e estão ilustrados nas figuras seguintes.

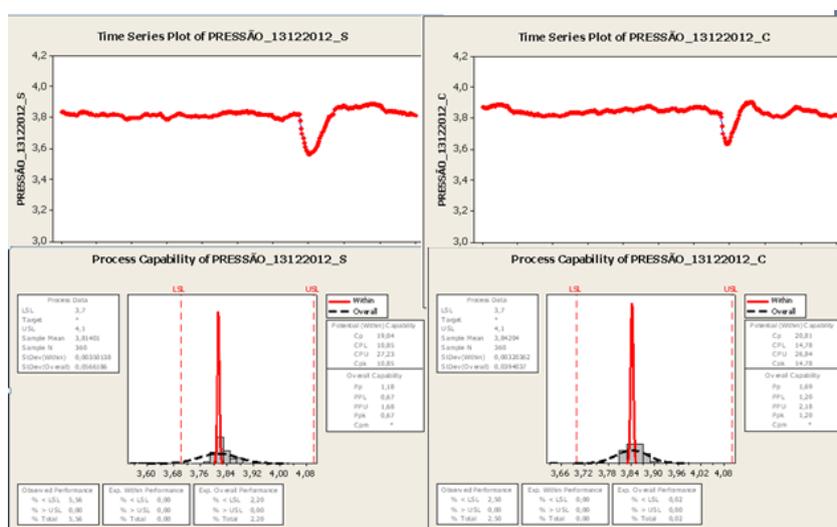


Figura 15 – Testes dia 13/12/2012, sem compensação x com compensação.

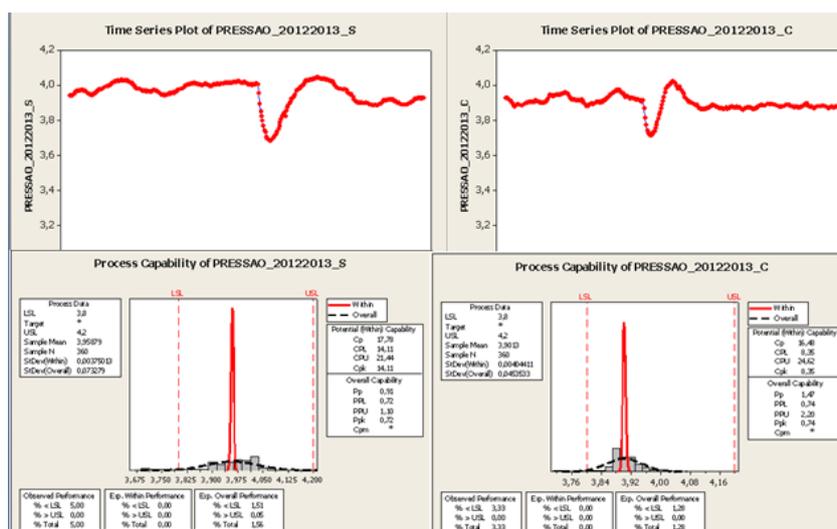


Figura 16 – Testes dia 20/12/2012, sem compensação x com compensação.

* Contribuição técnica ao 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Temas Centrais: Desafios para a mineração e siderurgia frente à nova realidade dos recursos de minério de ferro e coque.
Main Theme: Challenges for mining and steel making facing the current and future quality of the reserves of iron ore and coal.

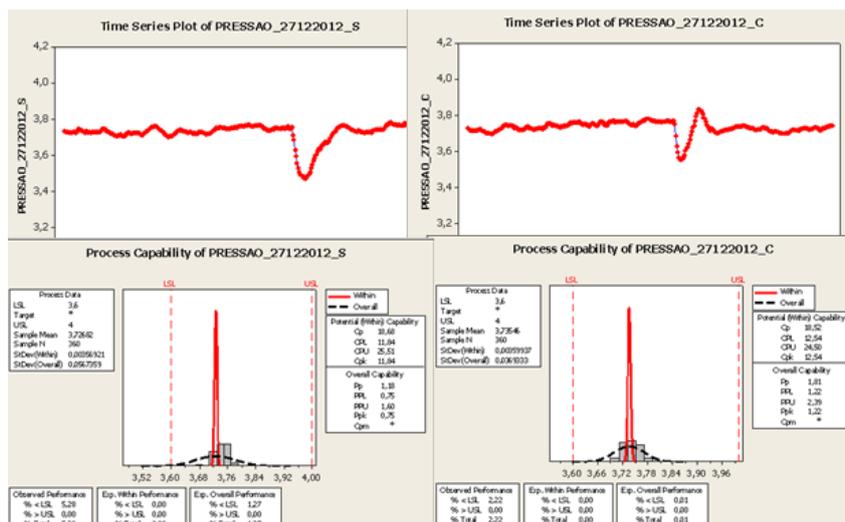


Figura 17 – Testes dia 27/12/2012, sem compensação x com compensação.

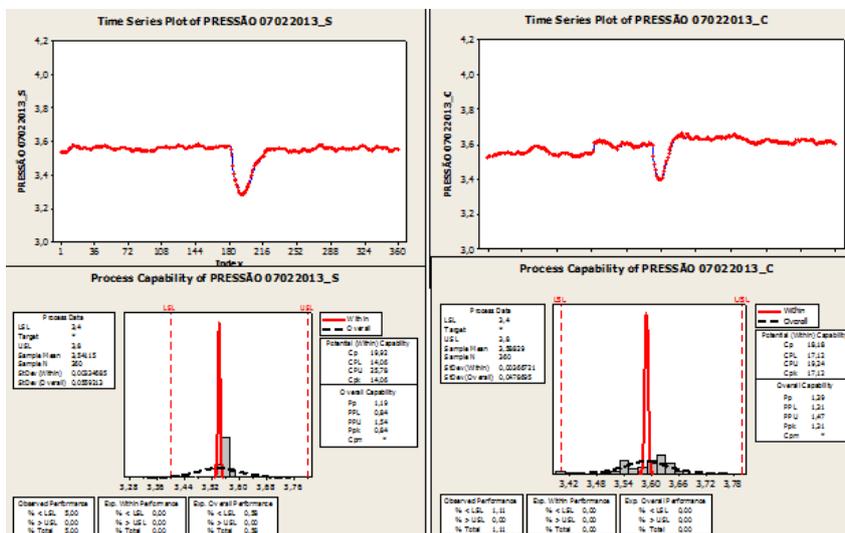


Figura 3 – Testes dia 07/02/2013, sem compensação x com compensação.

A tabela 6 demonstra o resumo dos testes para um melhor entendimento.

Tabela 6 – Resumo dos teste

DIA	SEM COMPENSAÇÃO	COM COMPENSAÇÃO	REDUÇÃO DE
	LSL	LSL	%
13/12/2012	5,56	2,50	45%
20/12/2012	5,00	3,33	67%
27/12/2012	5,28	2,22	42%
07/02/2013	5,00	1,11	22%

Foi criado o plano de ação para programar as soluções em larga escala, listado na próxima tabela.

* Contribuição técnica ao 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Tabela 2 – Plano de ação

DETALHAMENTO DO PLANO DE AÇÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO EM LARGA ESCALA									
FOCO 1	FOCO 2	Solução a ser implementada para teste	5W 2H						
			What (Atividade)	Who	When	Why	Where	How	How Much
X		Implementar compensação de sopro nos motossopradores	Fazer testes em manual	GT	10/12/2012 à 10/10/2013	Para avaliação da melhor forma de operação da compensação de sopro	MSO	Através de testes piloto com a equipe GGCE/GGAF	Sem custos
			Desenvolver Lógica de Controle de compensação de sopro	GT	20/12/2012 à 20/10/2013	Para implementar solução	MSO	Através do estudo da lógica e avaliação dos testes	Sem custos
			Implementar Lógica de Controle de compensação de sopro	GT	24/11/2013	Para reduzir queda da pressão de sopro durante manobra dos regeneradores	MSO	Através da modificação da lógica de controle atual	Sem custos
			Avaliar efeitos da compensação de sopro em larga escala nos motossopradores	GT	01/02/2013 à 30/03/2013	Para garantir operação dos motossopradores dentro dos parâmetros de projeto	MSO	Através da medição e acompanhamento dos parâmetros da máquina	Sem custos
X		Alterar procedimento de operação dos motossopradores	Testar e avaliar modo de operação Automático	GT	10/12/2012 à 30/12/2012	Para avaliar funcionamento deste modo operacional	MSO	Através de testes com a equipe GGCE/GGAF	Sem custos
			Revisar procedimento	GT	02/10/2013	Para adequação ao novo modo de operação	MSO	Através da revisão do procedimento operacional	Sem custos
			Treinar operadores	GT	11/01/2013 à 30/01/2013	Para garantir que os operadores cumpram o procedimento operacional revisado	MSO	Através de treinamento de das equipes de operação no padrão revisado	Sem custos

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa do trabalho será demonstrado o resultado final do projeto.

3.1 Control

A etapa do *control* consiste na avaliação do alcance da meta em larga escala. Com base na figura 19, foi constatado que a meta foi alcançada com êxito, vide parâmetro LSL da ferramenta de capacidade do processo via o software MiniTab.

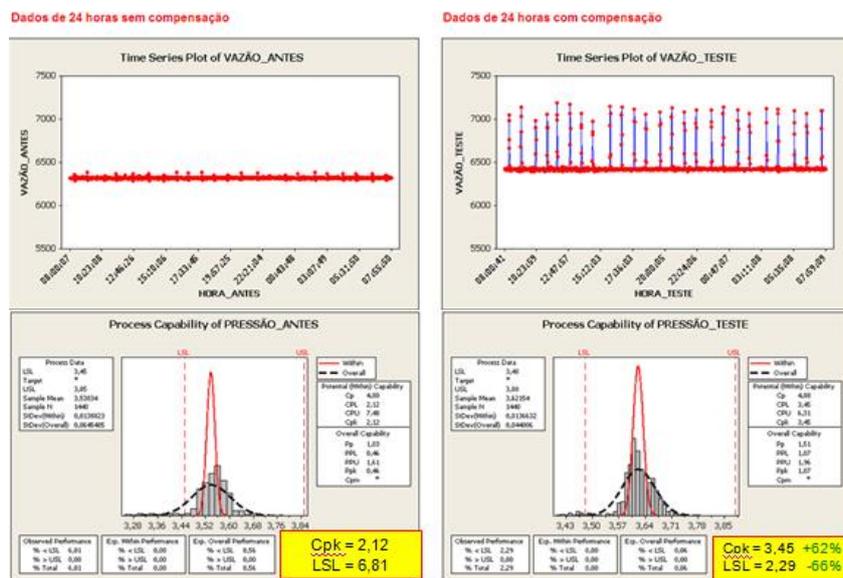


Figura 19 – Resultado final dia 06/06/2013, sem compensação x com compensação.

Com a compensação de sopro via o incremento da vazão de sopro proveniente do moto-soprador, tivemos melhora no processo operacional do alto-forno 3, com o aumento do ritmo de carga médio e por consequência o aumento de sua produtividade, ilustrado na figura abaixo.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

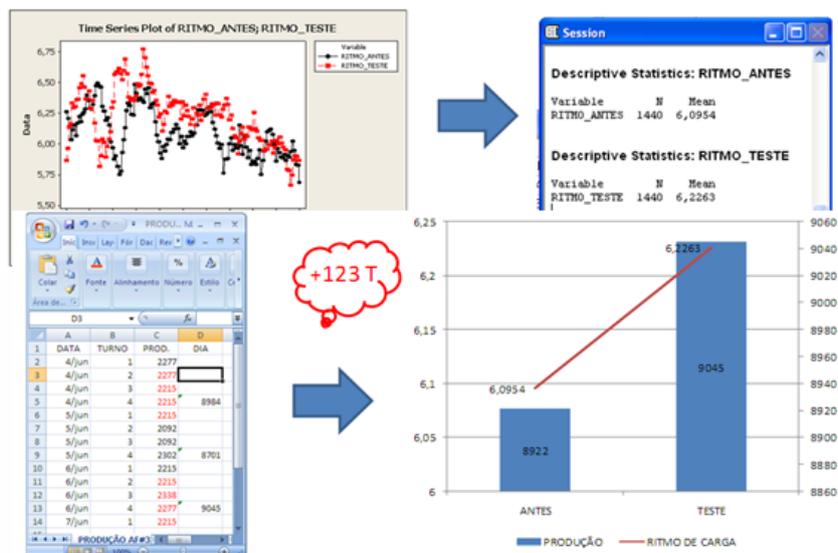


Figura 20 – Resultado final dia 06/06/2013, aumento de produção.

Sendo assim, a tabela a seguir demonstra o resultado financeiro alcançado e validado pela ASSA.

Tabela 8 – Ganho com o projeto

Total de Gusa/dia (t)	123
Nº Dias	30
Rendimento Gusa	98,40%
Gusa na Carga	82,53%
Rendimento Fe	90,00%
Rendimento Placa	96,69%
Rendimento BQ	98,47%
Total de BQ no período (t)	3.769,97
Margem BQ (R\$/t)	275,00
Possível ganho/perda financeira	1.036.741,11
Ganho Potencial do Projeto (R\$/ano)	
Total	R\$ 12.328.144,26

Fonte: ASSA.

Com o desenvolvimento do projeto foi criado padrão para a manutenção dos resultados obtidos, vide figura 21.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



CSN INSTRUÇÃO DE SERVIÇO

1- UNIDADE: GGE 2- DATA APROVAÇÃO: 28/01/13 3- REV.: 4- N° IS: 5- FOLHA:

6- TÍTULO: MOTO SOPRADOR REGIME DE TRABALHO FLUXO E AUTOMÁTICO

7- OBJETIVO: COMPENSAR O SOPRO DE AR FRIO PARA O AF-3 DURANTE A MANOBRA DO REGENERADOR

8- DESCRIÇÃO:

1. Moto Soprador-2 em modo de operação AUTOMÁTICO.

1.1 O líder MSO's verifica se a vazão do AF-3 for maior 5500Nm³/min e menor que 6400 Nm³/min, caso esteja deverá alterar o modo de controle MANUAL [2] para AUTOMÁTICO [4] através do BLWR CTRL MODO SEL (96NGC10EE002).

1.2 O Moto Soprador-2 só poderá trabalhar em modo AUTOMÁTICO [4] quando a vazão do AF-3 for maior que 5500Nm³/min e menor que 6400Nm³/min.

1.3 Em caso de redução de sopro do AF-3 menor que 5500Nm³/min, deverá ser alterado o modo de controle do Moto Soprador-2 de AUTOMÁTICO [4] para [2] MANUAL através do BLWR CTRL MODO SEL (96NGC10EE002).

2. Moto Sopradore-2 em modo de operação FLUXO.

2.1 O líder MSO's verifica se a vazão do AF-3 esta maior que 6400Nm³/min, deverá altera o modo de controle do MSO's de AUTOMÁTICO [4] para FLUXO [3] através do BLWR CTRL MODO SEL (96NGC10EE002), pois com a vazão do AF-3 maior que 6400Nm³/min estaremos excedendo o valor nominal da máquina na vazão de aspiração 7200Nm³/min.

2.2 Caso ocorra a redução de sopro do AF-3 mantendo entre 5500Nm³/min a 6400Nm³/min, deverá altera alterar o modo de controle do MSO's de FLUXO para AUTOMÁTICO

Figura 21– Padrão criado.

As pessoas das áreas envolvidas com o cumprimento dos novos padrões foram treinadas, vide figura 22.

CSN REGISTRO DE TREINAMENTO E DESENVOLVIMENTO

TREINAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PESSOAL

1- CÓD. DA AÇÃO:

TÍTULO: MOTO SOPRADOR 1 E 2 EM REGIME DE OPERAÇÃO MODO FLUXO E AUTOMÁTICO

3- ORDEM DOS RECURSOS: I II III

4- INSTRUCTOR: SIM NÃO CORPORATIVO FUNCIONA

5- CARGA HORÁRIA: 01:00 H

6- CONSTA NO PLANO DE TREINAMENTO? SIM NÃO

7- PROGRAMA:

8- DATA INÍCIO / FIM: A / A

9- HORA INÍCIO / FIM: A / A

10- EMPRESA EXECUTORA: CSN

11- LOCAL: 5º ANDAR CTE-2 "SALA DE CONTROLE"

12- Nº	13- MATRÍCULA	14- DV	15- NOME	16- ORÇAO			17- CARGO / OCUPAÇÃO	18- DATA / PRESENÇA
				13- INI	14- DO	15- UNID		
01	43365	7	Rafael Lioji Kogake	2014	05	GGE	Eng. 41504	
02	43367	1	Rafael Lioji Kogake	2014	05	GGE		
03	37555	6	Wagner V. B. Silva			GGE		
04	63513		Rafael Lioji de Silva Junior					
05	58861		Renata Valente Ramos					

CSN-2193 REV.1 TEMPERALIDADE: 91 ANOS

RAFAEL LIOJI KOGAKE
Gerente de Produção e
Sustentabilidade

Figura 22 – Registro de treinamento.

* Contribuição técnica ao 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



4 CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento do projeto, o principal desafio foi realizar a automatização da compensação e efetuar os testes com o processo em operação envolvendo duas áreas distintas dentro da organização CSN.

Mas o resultado final deste projeto demonstra que com a aplicação das ferramentas da qualidade através da metodologia seis sigma e com o trabalho em equipe, é possível obter grandes resultados.

Agradecimentos

Um projeto deste porte não é feito apenas pelos autores deste trabalho, então, aqui faremos nosso agradecimento especial para as pessoas listadas abaixo, pois contribuíram de maneira significativa para o sucesso do mesmo.

- ➔ Daniel Rezende Machado – Engenheiro de Produção Sr – GGAF/GAF
- ➔ Francisco Nóbrega de Aguiar – Especialista em Siderurgia – GGAF/GAF
- ➔ Waldir Benedito da Costa – Técnico Desenvolvimento Especialista – GGAF/GAF
- ➔ André Luiz de Oliveira – Engenheiro de Manutenção Sr – GGCE/GGE
- ➔ Thiago Reis da Silva – Analista de Desempenho Operacional - ASSA

REFERÊNCIAS

- 1 Werkema MCC. Criando a Cultura Seis Sigma. Belo Horizonte, MG; Werkema Editora, 2010, 256p.
- 2 CSN, Manual de Treinamento Operacional. Volta Redonda, RJ; Arquivo técnico CSN, 2011.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*