

## OTIMIZAÇÃO DE VAPOR INTEGRADO DO COMPLEXO SIDERÚRGICO USANDO METODOLOGIA SIX SIGMA\*

MATEUS NUNES DA SILVA FILHO<sup>1</sup>  
RICARDO DA SILVA RODRIGUES<sup>2</sup>  
DANIEL ALVES DE SOUZA<sup>3</sup>  
EVANDRO DA SILVA DO CARMO<sup>4</sup>  
IGOR NEVES DE OLIVEIRA

### Resumo

A utilização de vapor em um Complexo Siderúrgico Integrado está presente em diversos processos da produção do aço e geração de energia. O emprego de sistemas de troca de calor, obtenção de vácuo e geração de energia são exemplos da aplicação de vapor nos processos siderúrgicos. Por se tratar de um fluido de trabalho de elevado custo, a gestão adequada deste contribui para o aumento de competitividade da referida indústria do aço. O cenário globalizado e de alta concorrência da indústria requer ações em diversos processos com o foco na redução de custos e aumento de produtividade. O presente projeto é desenvolvido no Complexo Siderúrgico da Ternium que possui uma planta Termelétrica com cogeração e consumidores/produtores de vapor integrados ao processo de produção do aço, utilizando a metodologia Seis Sigma e um grupo multidisciplinar com pessoas de diferentes áreas operacionais do referido Complexo. O desenvolvimento deste trabalho consiste na coleta, análise e tratamento de dados do sistema de distribuição de vapor de baixa pressão (15 kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura mínima de 210 °C) da Usina, o qual de acordo com a dinâmica operacional direciona vapor da Termelétrica para a Aciaria ou da Aciaria para a Termelétrica. Assim, é possível obter diagnósticos de consumo e perfis de perdas, os quais são tratados em planos de ação que abrangem melhorias técnicas e de processos, automação e instrumentação, revisão de procedimentos e capacitação dos colaboradores. Os resultados obtidos no projeto consistem na redução total do consumo de vapor de baixa pressão em 2% e das perdas em 60%, contribuindo para uma redução de custos e aumento da geração de energia na Termelétrica. O projeto tem retorno financeiro anualizado de USD 1.000.000.

**Palavras-chave:** Cogeração. Eficiência Energética. Termelétrica. Utilidades. Vapor.

## OPTIMIZATION OF STEAM IN AN INTEGRATED STEEL MILL USING THE SIX SIGMA METHODOLOGY

### Abstract

The use of steam in Integrated Steel Mill is present in several processes of steel production and power generation. The use of heat exchangers, vacuum degassers and power generation are examples of the application of steam in the steel industry. Because it is a high-cost workflow, the proper management of this contributes to the increased competitiveness of the industrial plant. The globalized and high competition scenario of the industry requires actions in several processes with the focus on reducing costs and increasing productivity. The present project is developed in a plant that has a thermoelectric plant with cogeneration and consumers / producers of steam integrated into the steel production process, using the Six Sigma methodology and a multidisciplinary group with people from different operational

\* Contribuição técnica ao 39º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 33º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 04 de outubro de 2018, São Paulo, SP, Brasil.

areas of said Complex. The development of this work consists of the collection, analysis and data treatment of the low pressure steam distribution system of the Plant, which according to the operational dynamics directs steam from the Thermoelectric to the Steelworks. Thus, it is possible to obtain consumption diagnoses and loss profiles, which are addressed in action plans that cover technical and process improvements, automation and instrumentation, review of procedures and training of employees. The results obtained in the project consist in the total reduction of the consumption of steam of low pressure in 2% and of the losses in 60%. The project has an annualized financial return of USD 1,000,000.

**Keywords:** Cogeneration. Energy Efficiency. Power Plants. Steam. Utilities.

- <sup>1</sup> *Engenheiro Mecânico, Especialista Sistemas Termelétricos, Especialista Green Belt, Energy Hunter, Termelétrica Ternium Brasil, Santa Cruz, RJ/Brasil.*
- <sup>2</sup> *Engenheiro de Controle Automação, Engenheiro de Automação, Termelétrica/Utilidades, Ternium Brasil, Santa Cruz, RJ/Brasil.*
- <sup>3</sup> *Engenheiro Eletricista, Engenheiro de Automação Pleno, Termelétrica, Ternium Brasil, Santa Cruz, RJ/Brasil*
- <sup>4</sup> *Engenheiro de Produção com especialização em Eng. De Segurança do trabalho, Engenheiro de Processo, Termelétrica Ternium Brasil, Santa Cruz, RJ/Brasil*
- <sup>5</sup> *Engenheiro Produção, Especialista de Projetos, Engenharia Centralizada, Ternium Brasil, Santa Cruz, RJ/Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Objetivo

Reduzir o desperdício de vapor para atmosfera através das válvulas de alívio de 109t/diaporá 40 t/dia, garantindo a maximização do recurso para produção de aço, para sistemas auxiliares da Termelétrica, geração de energia elétrica, Altos Fornos e criogênicos.

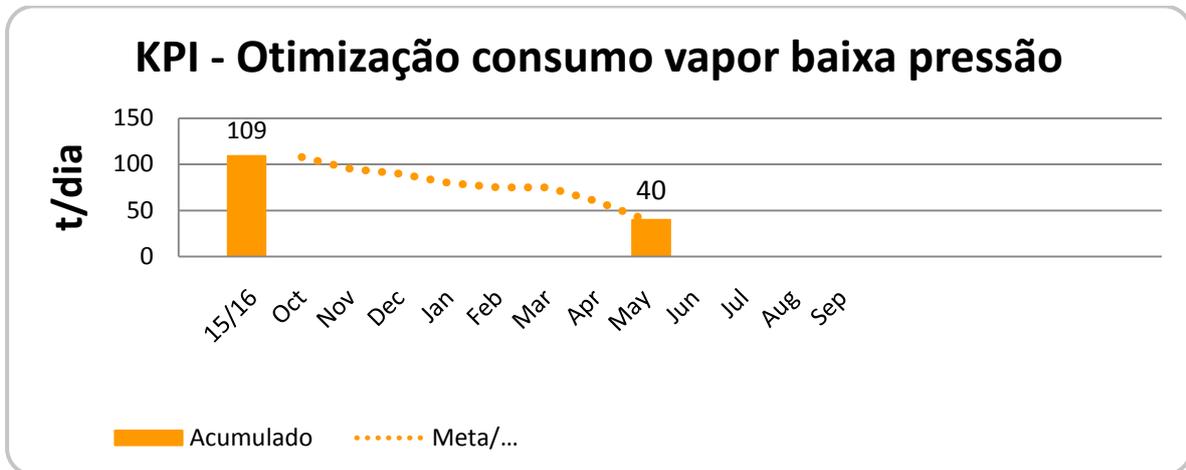


Figura 01 – KPI meta escalonada, TERNIUM BRASIL

#### 1.1.1 Funcionamento do Sistema de vapor auxiliar do Complexo Ternium

O sistema de vapor auxiliar do complexo funciona com duas principais áreas produtoras, Termelétrica e Aciaria, que se encontram nos extremos do sistema, além de duas caldeiras auxiliares, que foram instaladas no meio das linhas de operação para aumento da confiabilidade. Os consumidores conectados são: Autos Fornos, Planta de tratamento de criogênicos (ASU), Termelétrica e Aciaria.

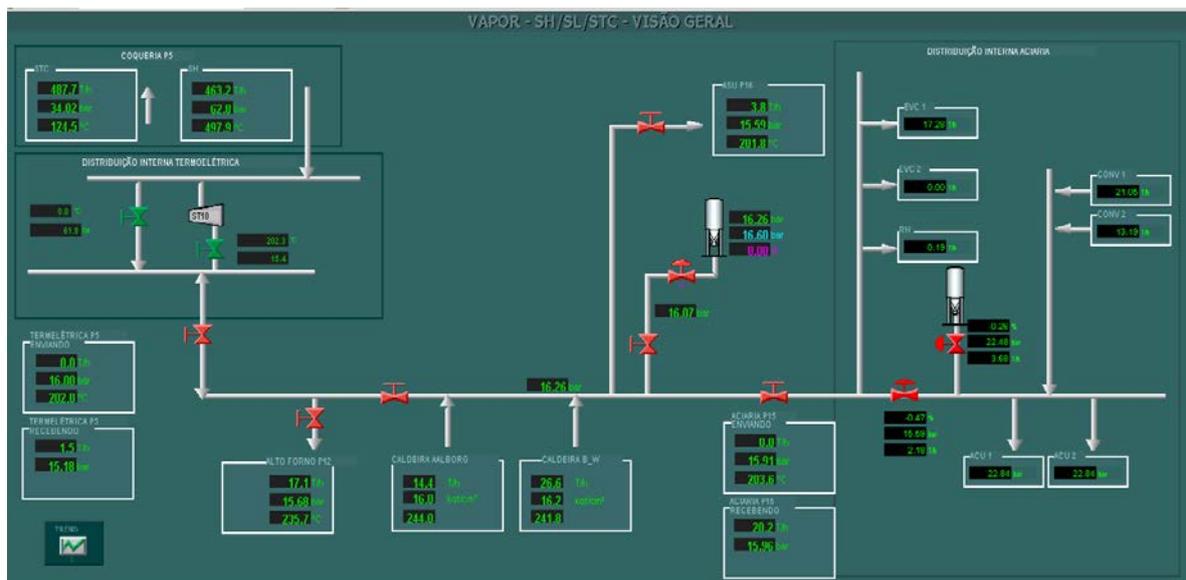


Figura 02 – Sistema Vapor Complexo Siderúrgico TERNIUM BRASIL

### 1.1.2A produção de vapor pela Aciaria

A produção de vapor da Aciaria ocorre através de duas caldeiras recuperadoras conectadas aos conversores que direcionam seus gases a alta temperatura para recuperação de calor.

O volume de vapor produzido ou gerado é proporcional ao número de corridas ou carregamento de gusa nos conversores



Figura 03 – Carregamento de Gusa nos Conversores.

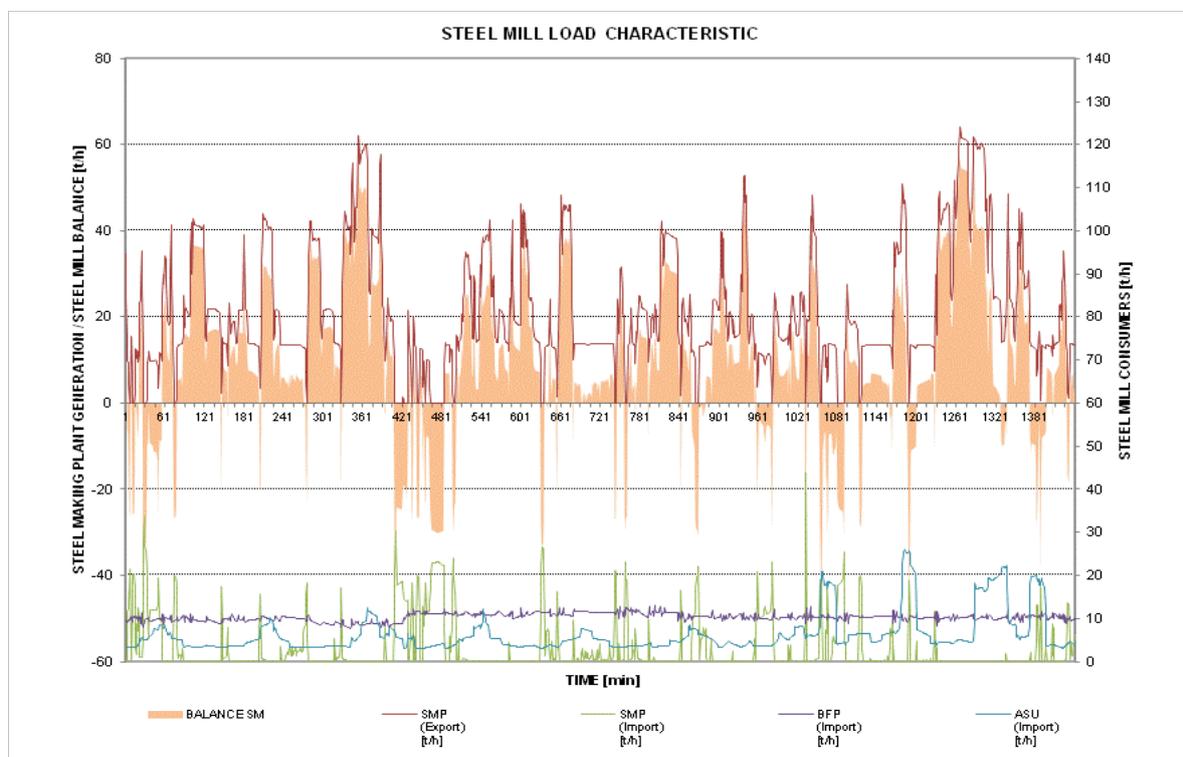


Figura 04 – Curva de produção vapor X número corridas.

### 1.1.3A produção de vapor pela Termelétrica

A produção de vapor auxiliar na Usina de geração de energia elétrica ocorre através da redução de vapor de alta pressão (60 Bar a 500°C), proveniente da Coqueraia pelo sistema de cogeração, para o coletor de pressão intermediária, denominado IP header (16 Bar a 210°C). Este sistema irá fornecer vapor para consumo interno da Termelétrica, e exportar o vapor para o Complexo Siderúrgico.

Para organizar o fluxo de vapor de importação e ou exportação, os set points foram ajustados de acordo com os projetos de cada área e sistema. Quando ocorre a necessidade de redução de vapor pela Termelétrica a geração da Turbina a Vapor diminui, porque o vapor vivo é retirado para o sistema de vapor auxiliar.

Quando há excesso de vapor no Complexo através da Aciaria um sinal é enviado à Termelétrica que diminui o set point e o vapor flui para Central Termelétrica.

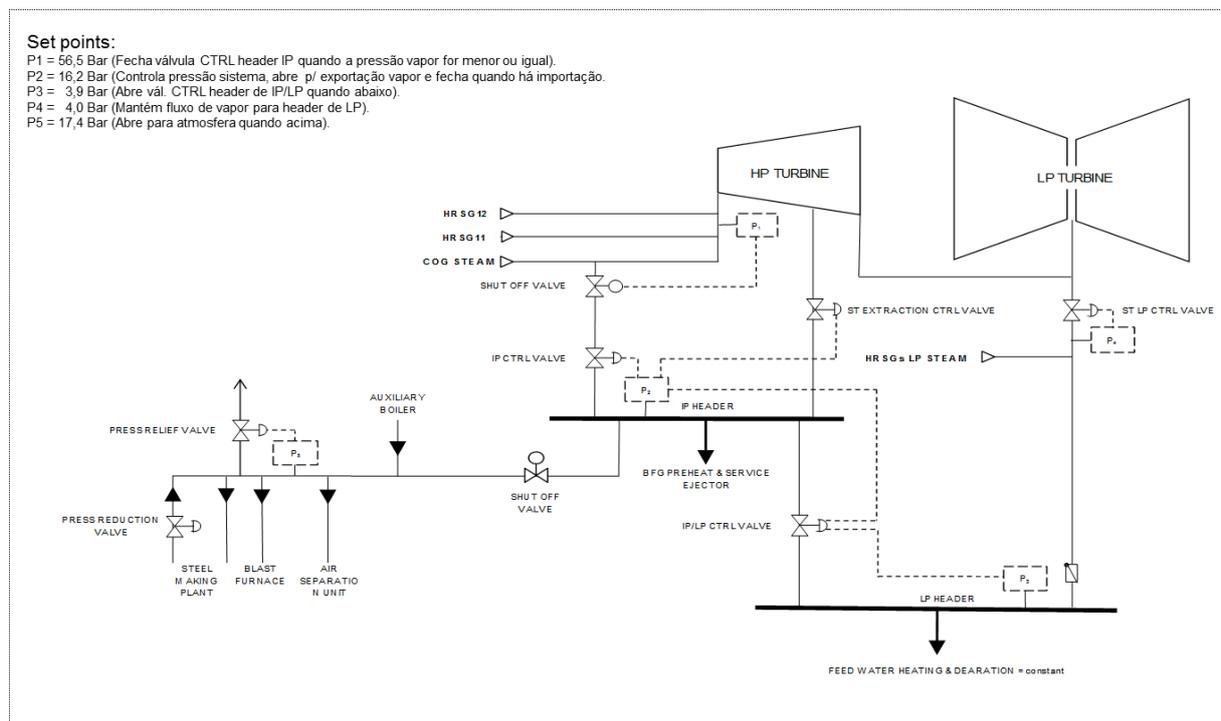
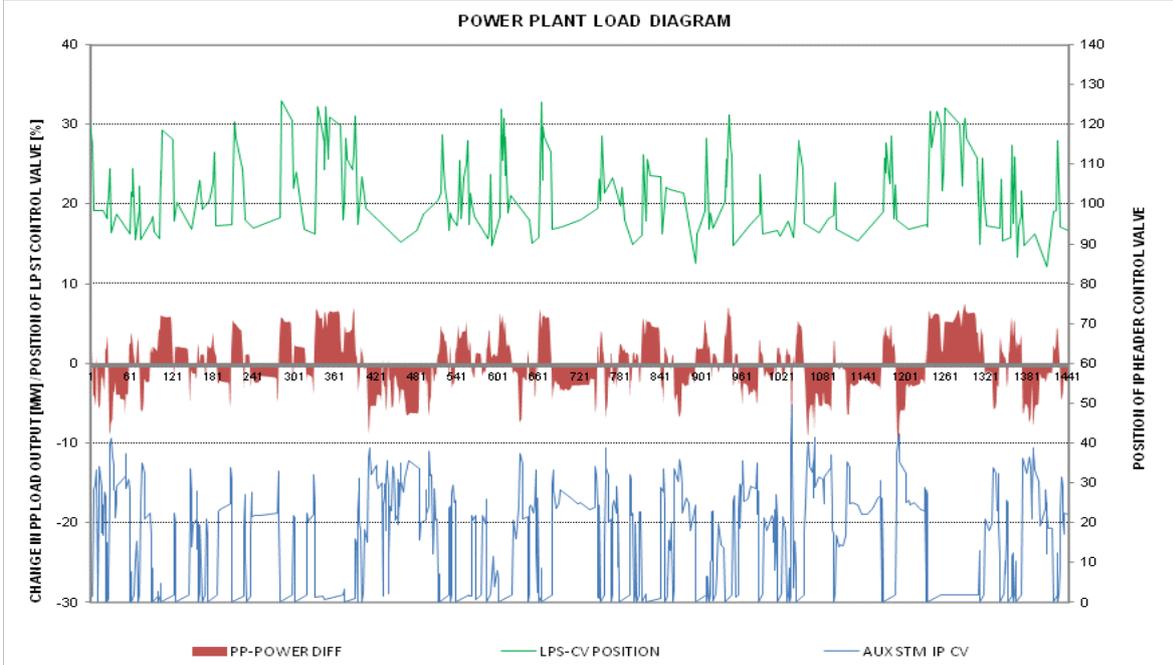


Figura 05 – Sistema de controle vapor auxiliar Termelétrica TERNIUM BRASIL



**Figura 06 – Abertura válvula CTRL TV X Redutora STM IP CV.**

### 1.1.3 Caldeiras auxiliares

As caldeiras auxiliares possuem papel importante no aumento da confiabilidade do processo e no aumento da geração, principalmente quando o preço da energia (PLD) é favorável. As mesmas são liberadas para carga máxima contribuindo para maior geração de energia na Termelétrica.

Para auxiliar a Equipe de Operação no “tempo real” foram idealizadas telas de alta performance com a indicação da viabilidade econômica de forma a facilitar a tomada de decisão.

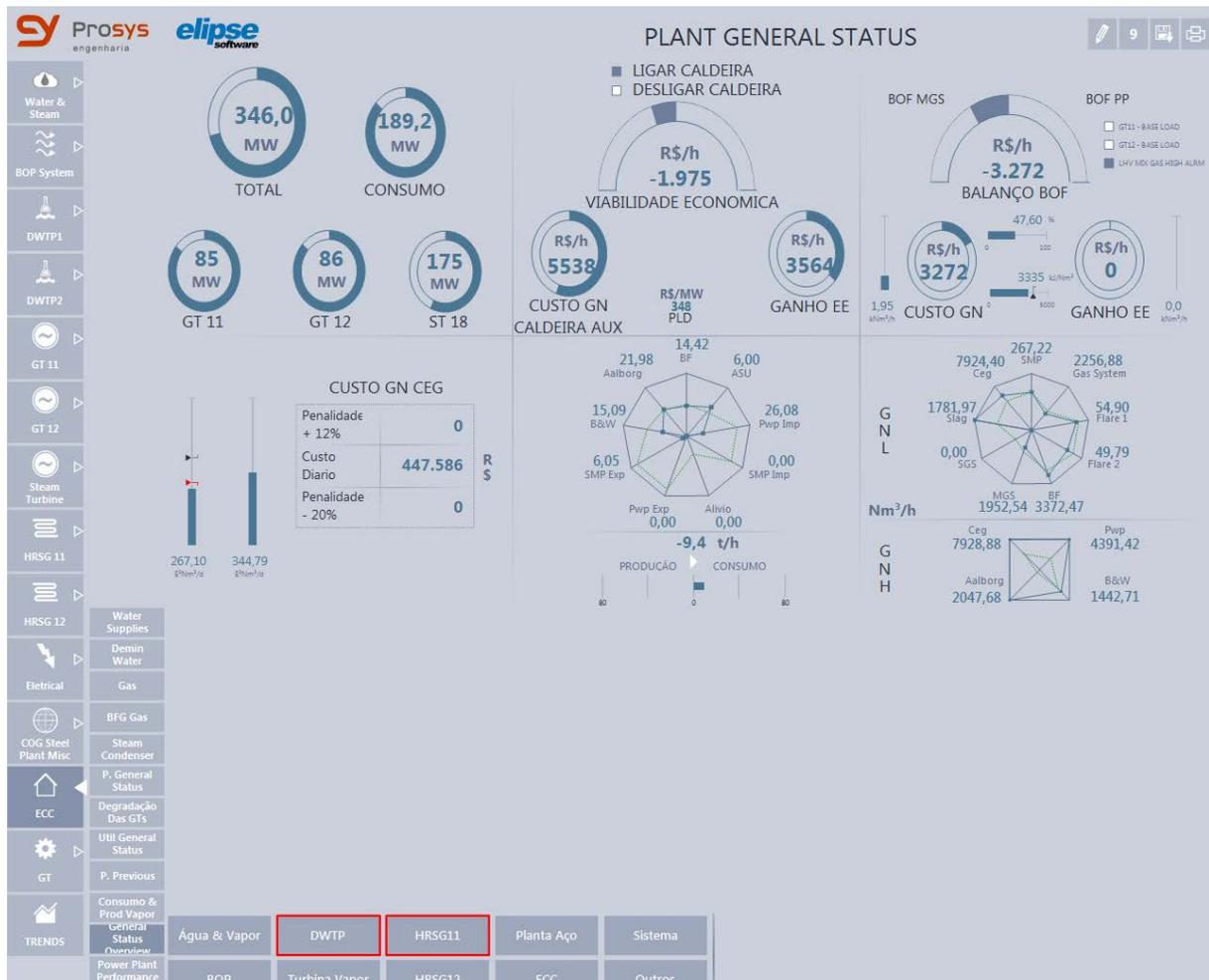


Figura 07 – Tela Status e viabilidade econômica.

## 2Desenvolvimento

### 2.1 Análise

Durante a operação do sistema era frequente a “reclamação” do setor da Aciaria, de interrupção do processo de vácuo profundo para confecção do aço e da perda de pressão. Os set points dos controles na Aciaria e Termelétrica eram alterados pelos Operadores a fim de evitar as falhas, principalmente, as baixas pressões.

As caldeiras auxiliares eram colocadas em operação máxima e mesmo assim a pressão variava de forma brusca, hora descartando parte do vapor para atmosfera, hora interrompendo a sequência de aço devido a perda de vácuo por baixa pressão.

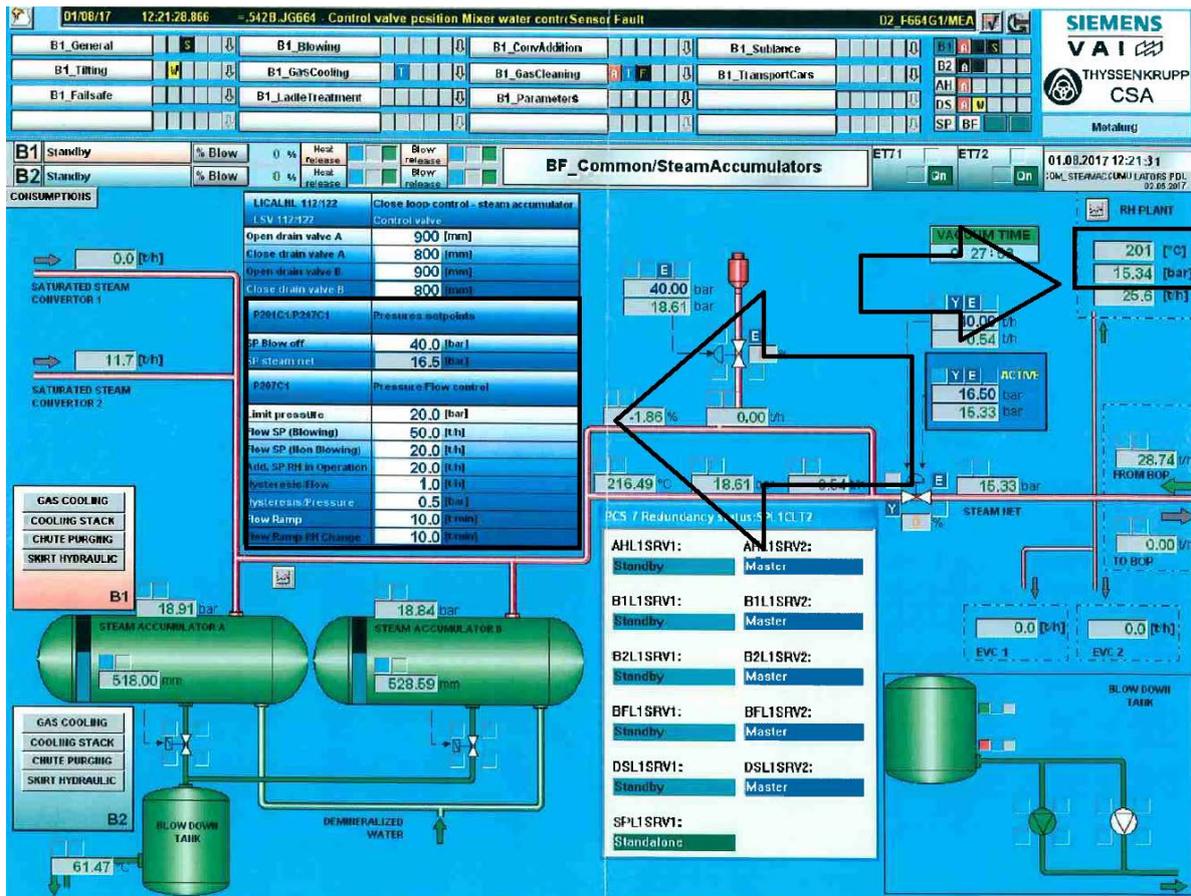


Figura 08 – Sistema controle com set point ajustado pelo Operador

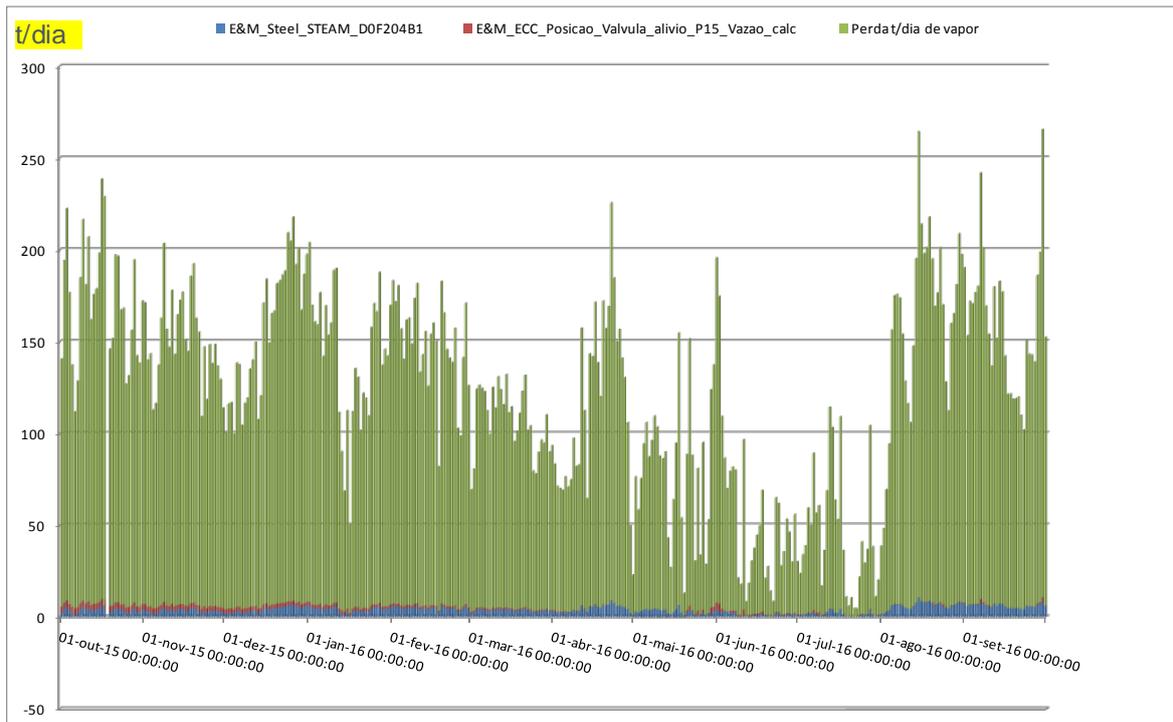


Figura 09 – Medição perda de vapor através sistema alívio – alta variabilidade

Realizado levantamento estatístico para avaliação das condições de processo e confirmado a alta variabilidade do sistema, com a curva de Distribuição Normal bastante dispersas. Essas dispersões foram decorrentes das variações bruscas de pressão e inversões abruptas de fluxo de vapor.

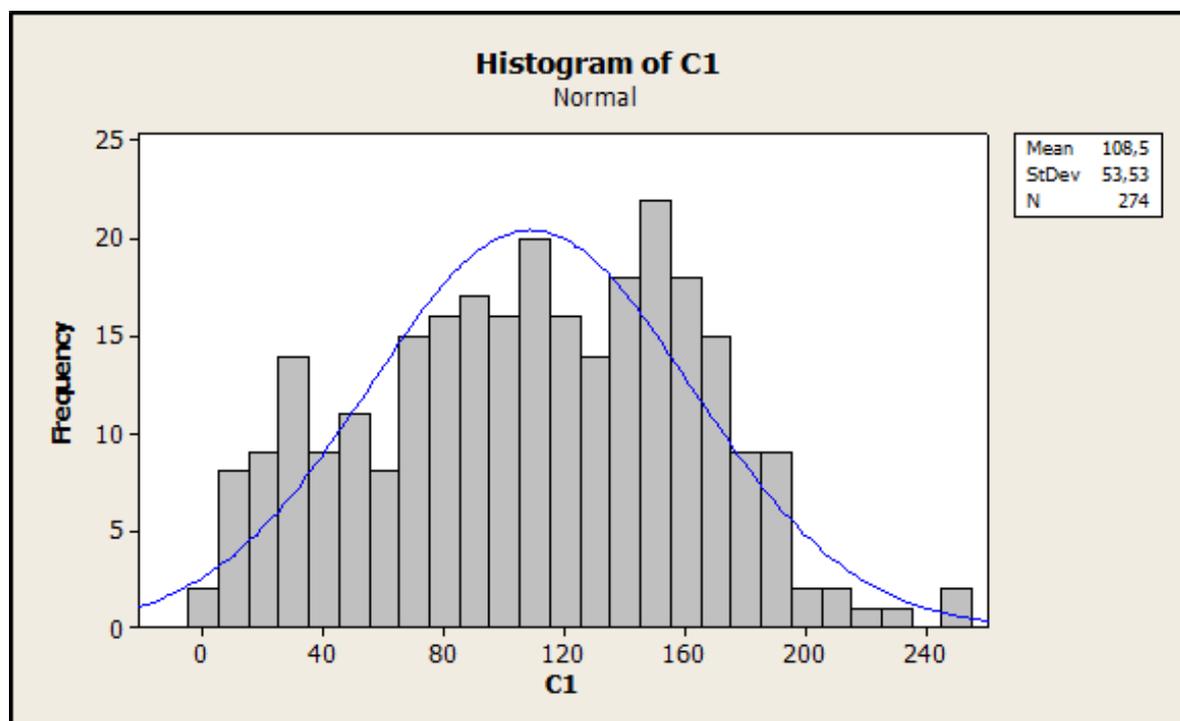


Figura 10 – Distribuição Normal do processo de perda de vapor.

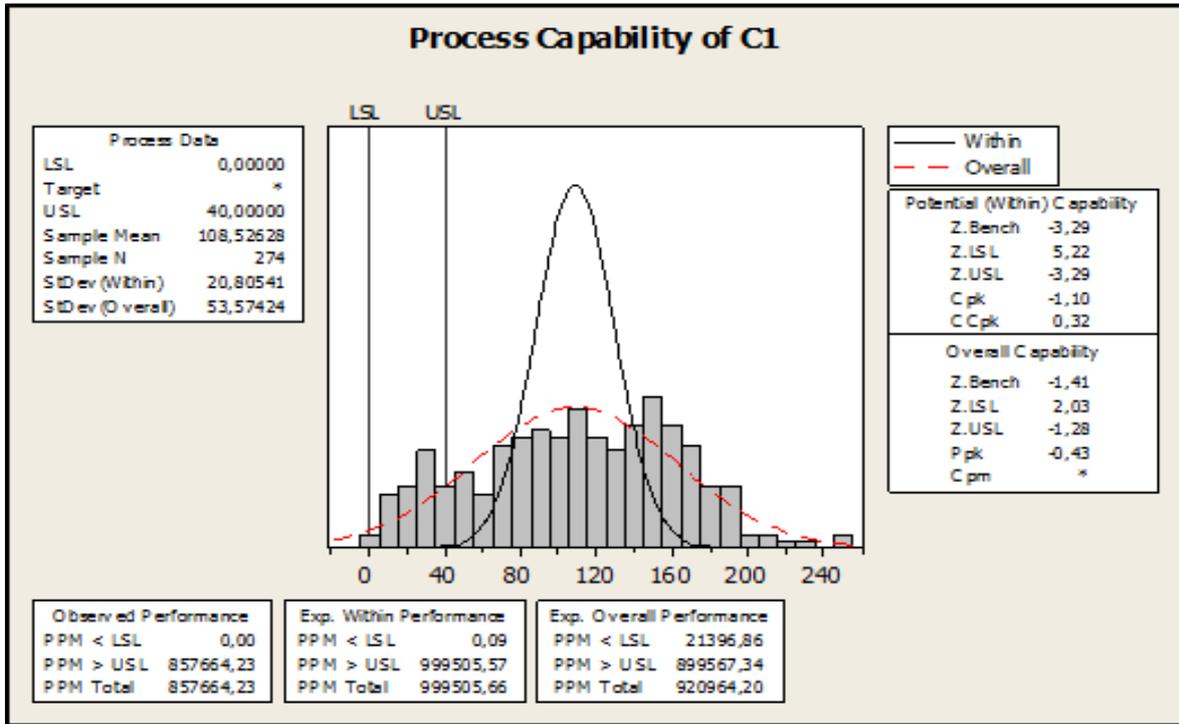


Figura 11 – Capacidade do processo.

## 2.2 ISHIKAWA

Realizado levantamento das causa fundamentais e elaborado plano de ação com a priorização das ações.

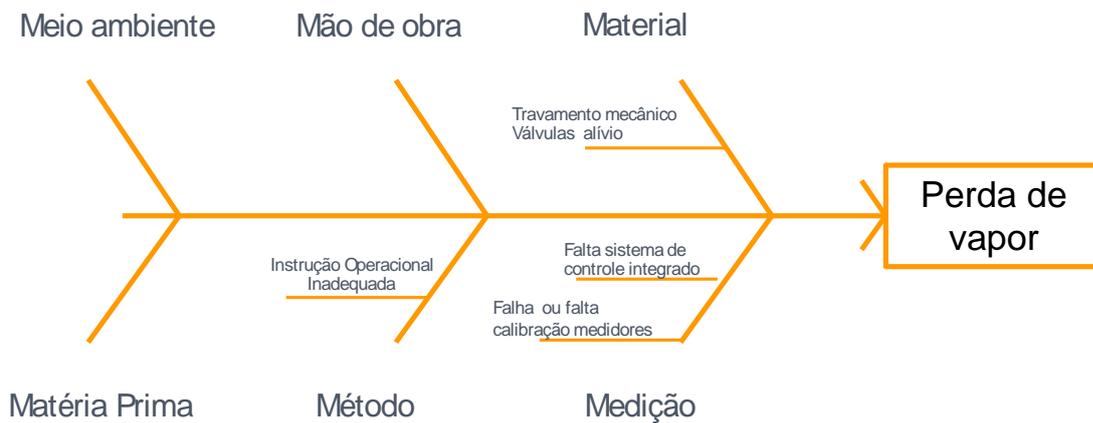


Figura 12 – Ishikawa

Item	Causa	WHAT	WHEN		Status	WHY	WHERE	HOW	HOW MUCH
		O que será	Início	Término		Por que será	Onde será	Como será feito?	Quanto
1	Instrução Operacional Inadequada (Padrão operacional)	Criar padrão do modo operacional até automatização do sistema	03/04/2017	01/05/2017	Concluído	para adequar as condições de processo	Aciaaria	Revendendo o histórico operacional e a melhor prática	Sem custo - mão de obra interna
2	Falta sistema de controle integrado (gerenciamento)	Realizar ajuste de PID para válvula redutora de pressão	03/04/2017	03/04/2017	Concluído	Aumentar "o ganho" da válvula e resposta	Automação	Através de ajustes no sistema de controle da lógica de engenharia	Sem custo - mão de obra interna
3	Falta sistema de controle integrado (gerenciamento)	Realizar ajuste PID da válvula de CTRL. IP pra LP na termelétrica	03/04/2017	03/04/2017	Concluído	Aumentar a resposta de consumo de vapor quando houver sinal de vapor excedente (excesso)	Termelétrica	Através de ajustes no sistema de controle da lógica de engenharia	Sem custo - mão de obra interna
4	Falta sistema de controle integrado (gerenciamento)	Integração das malhas de controle	01/11/2017	10/01/2018	Concluído	Para gerenciar automático da rede de vapor	Termelétrica e Aciaaria	Troca de dados de rede de comunicação	Sem custo - mão de obra interna
5	Travamento mecânico da válvula de alívio (girafinha)	Revisar plano de manutenção	03/02/2017	28/02/2017	Concluído	Evitar travar aberta	Termelétrica	Através de avaliação técnica da peridicidade e manual fabricante	Sem custo - mão de obra interna
6	Falha ou falta de calibração medidores	Calibrar medidores	03/02/2017	28/02/2017	Concluído	Garantir confiabilidade dos dados	Aciaaria	Através procedimento específico	Sem custo - mão de obra interna

Figura 13 – Plano de ação

## 2.3 Padrão operacional –

Foram realizados mapeamento das condições operacionais e criados os cenários para operação - “modus operandi” - do sistema até que pudéssemos realizar todos os ajustes e ações de automatização do sistema. Os distúrbios no sistema diminuíram consideravelmente e as perdas de vapor atingiram as metas estabelecidas durante a etapa de controle. A curva de capacidade se deslocou para direita com maior estabilização, mas ainda mantém um elevado desvio padrão.

### Modus Operandi

Ajustes operacionais que devem ser realizados:

#### 1 – Termelétrica e Utilidades:

- Válvula redutora de Pressão Termelétrica disponível para suprir, **de forma automática**, as demandas de vapor necessária a atender o Complexo.
- Set Point para válvula redutora da termelétrica em 15.8 Bar.
- Caldeiras auxiliares (Alborg e B&W) em operação estável e contínua para evitar variações de pressão no sistema.

#### 2 - Aciaria

- Sistema de controle fechado dos acumulador de vapor (Close Loop Control), com os ajustes:
  - a. limite inferior de pressão = 20bar.
  - b. Flow SP (blowing) = 20 t/h.
  - c. Flow SP (No blowing) = 10 t/h.
  - d. Add RH = 25 t/h.

Cenários Operacionais, Aciaria:

Quando,

- 1) Pressão acumulador  $\geq 32\text{Bar} + \text{CONVERSION}$ , ajustar SP (blowing) de 20 p/ 40t/h.
- 2) Se, acumulador estiver pressão  $> 32\text{bar}$  sem CONVERSION (No blowing) ajustar SP de 10 p/ 20t/h.
- 3) Limite de exportação de vapor 40 t/h + 20 (quando RH em operação e EVCs) neste momento, se necessário, a Utilidades irá suprir a diferença de vapor.
- 4) Se, acumulador estiver com baixa pressão ( $<25\text{bar}$ ) o SP de exportação de vapor Aciaria será 20 t/h (blowing) + 20 t/h RH em Operação. Se necessário, a Utilidades irá suprir a diferença de vapor.
- 5) Se, acumulador estiver na pressão mínima e sem recuperação. A utilidades irá fornecer o vapor necessário para suprir a corrida do RH através da termelétrica e Caldeiras Auxiliares, como ocorreu hoje a tarde (09/5/17) durante avaliação do processo.

Figura 14 – Mapeamento dos cenários - IT

### Relatório de Capacidade Entre/Dentro para Perda vapor - t/dia

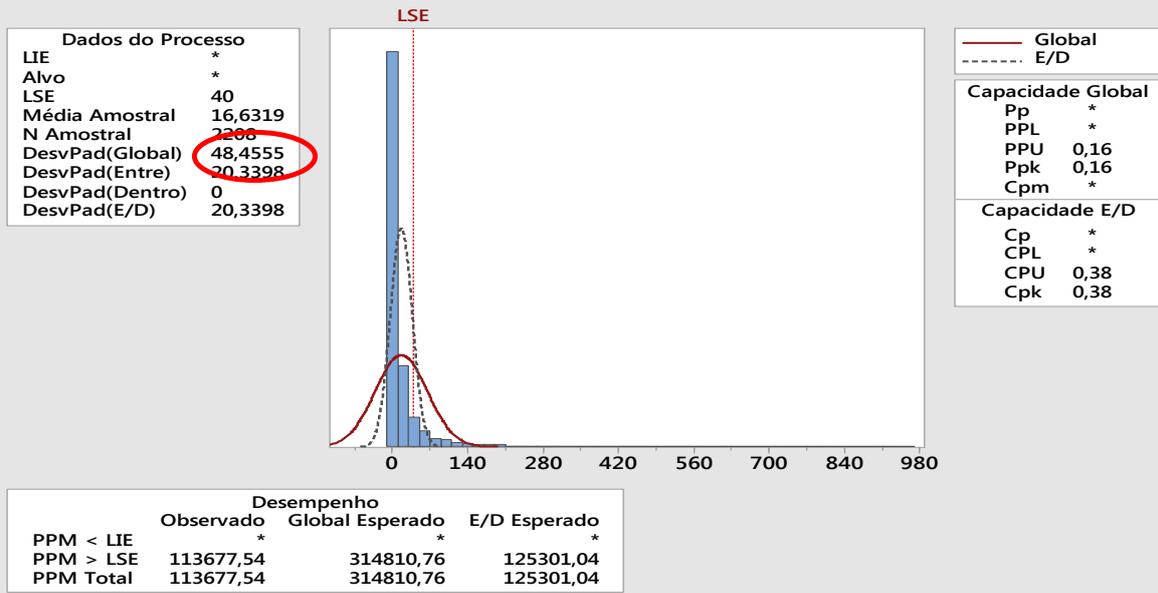


Figura 16 – Curva capacidade processo

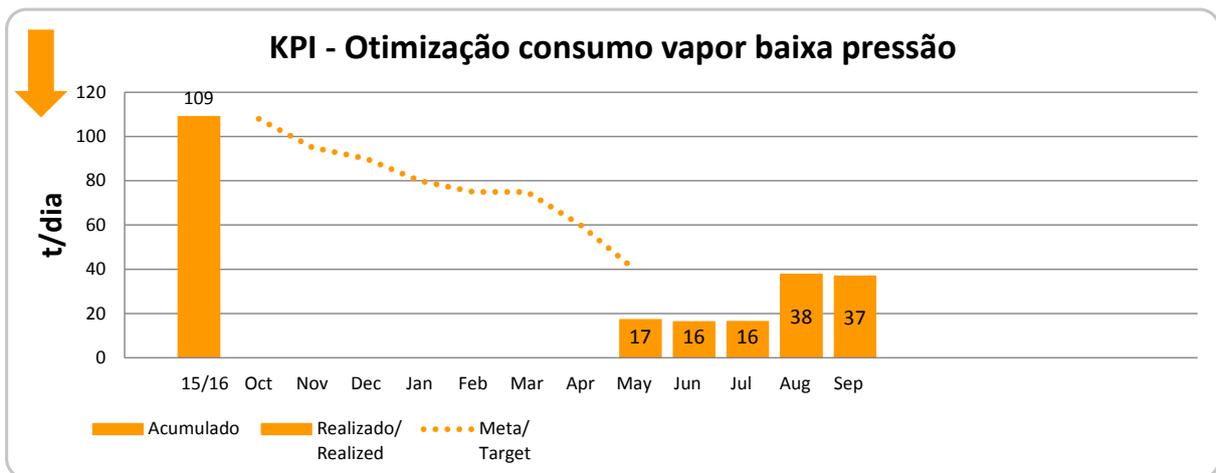


Figura 17 – Meta atingida

## 2.4 Integração das malhas de controle e nova lógica processo

O sistema de controle da Termelétrica operava em modo de “controle de pressão”, enquanto o sistema da Aciaria operava em modo de “controle de vazão”.

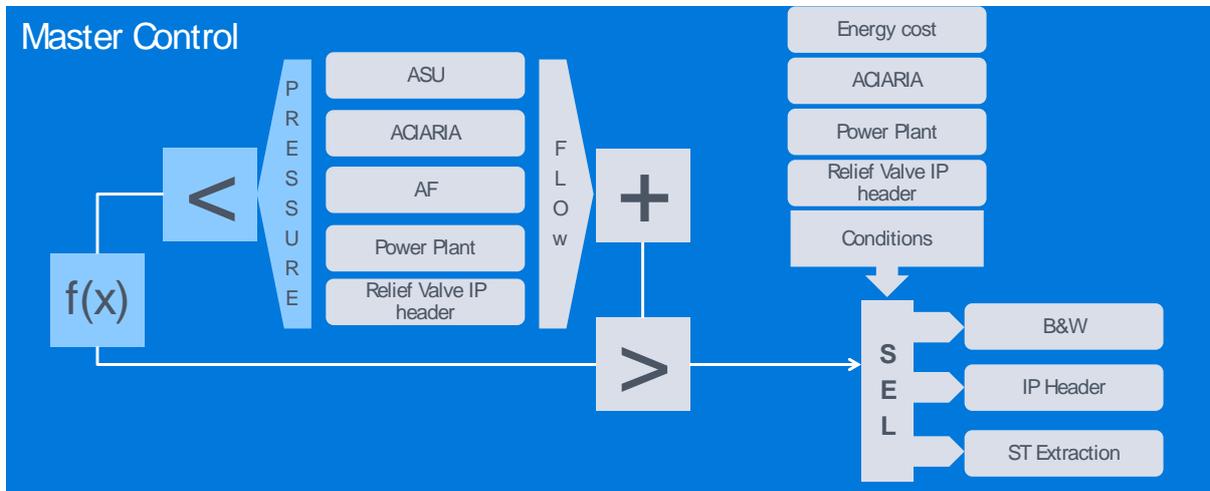


Figura 18 – Automação/Integração processos

## Ações para Otimização e estabilidade do vapor LP

Sistemas que devem parar durante download do controlador U004.  
Tempo de duração: 1-3 horas

```

* U004_00_MA1_B1 "AIR REMOVAL SYSTEM MAIN"
* U004_00_LDM1_B1 "HP COMMON DRAINS"
* U004_00_LDM11_B1 "LP COMMON DRAINS"
* U004_00_LB000_B1 "COG FOW PWR T CTRL"
* U004_00_LB000_B2 "AUS STM SYS - LP HDR"
* U004_00_LB000_B1 "AUS STM SYS - LP HDR"
* U004_00_LB000_B2 "AUS STM SYS - IP HDR"
* U004_00_LB000_B1 "AUS STM SYS - IP HDR"
* U004_00_11CJ03_B1 "ULFMSICBOP SEQUENCER"
* U004_00_19LCA_B1 "ATMOSPHERIC DRAIN VESSEL"
* U004_00_19LCA_B1 "STEEL MILL CONDS PUMPS"
* U004_00_11CJ03_B2 "CC LD COORD HRSG 11"
* U004_00_LFH00_B1 "AMMCAIA DOSING SYSTEM"
* U004_00_LFH00_B1 "AMMCAIA DOSING SYSTEM COG PW"
* U004_00_LFH40_B1 "OXYGEN SCAVENGING SYSTEM"
* U004_00_12CJ03_B1 "ULFMSICBOP SEQUENCER"
* U004_00_12CJ03_B2 "CC LD COORD HRSG 12"
* U004_00_11OJA_B1 "SAMPLING SYSTEM"
* U004_00_MA1_A2 "AIR REMOVAL SYSTEM MAIN"
* U004_00_MA1_A1 "AIR REMOVAL SYSTEM MAIN"
* U004_00_LDM1_A1 "HP COMMON DRAINS"
* U004_00_LDM11_A1 "LP COMMON DRAINS"
* U004_00_LB000_A1 "COG FOW PWR T CTRL"
* U004_00_LB000_A2 "AUS STM SYS - LP HDR"
* U004_00_LB000_A1 "AUS STM SYS - LP HDR"
* U004_00_LB000_A2 "AUS STM SYS - IP HDR"
* U004_00_LB000_A1 "AUS STM SYS - IP HDR"
* U004_00_11CJ03_A1 "ULFMSICBOP SEQUENCER"
* U004_00_19LCA_A1 "ATMOSPHERIC DRAIN VESSEL"
* U004_00_19LCA_A1 "STEEL MILL CONDS PUMPS"
* U004_00_11CJ03_A1 "CC LD COORD HRSG 11"
* U004_00_LFH00_A1 "AMMCAIA DOSING SYSTEM"
* U004_00_LFH00_A2 "AMMCAIA DOSING SYSTEM"
* U004_00_LFH00_A1 "AMMCAIA DOSING SYSTEM COG PW"
* U004_00_LFH40_A1 "OXYGEN SCAVENGING SYSTEM"
* U004_00_LFH40_A2 "OXYGEN SCAVENGING SYSTEM"
    
```

Obs. O sistema deverá passar por um comissionamento a quente, onde pode haver necessidade de outra parada para downloads de melhoria

Figura 19 – Identificação das variáveis para integração dos processos/Automação

### Relatório de Capacidade Entre/Dentro para perda vapor - t/dia

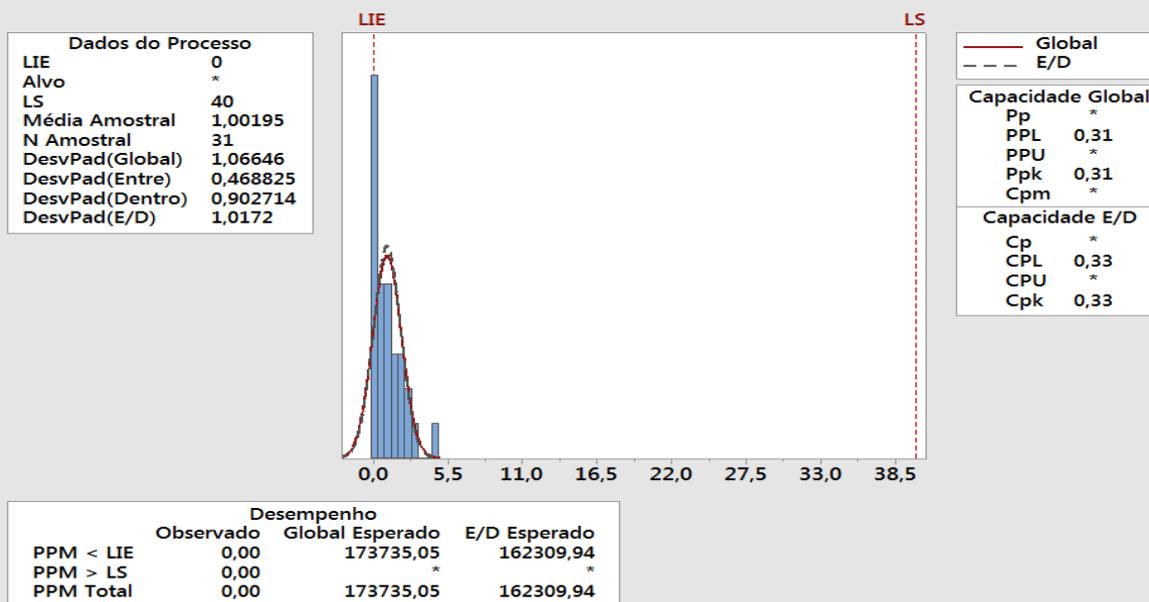


Figura 20 – Curva capacidade processo com redução do desvio padrão

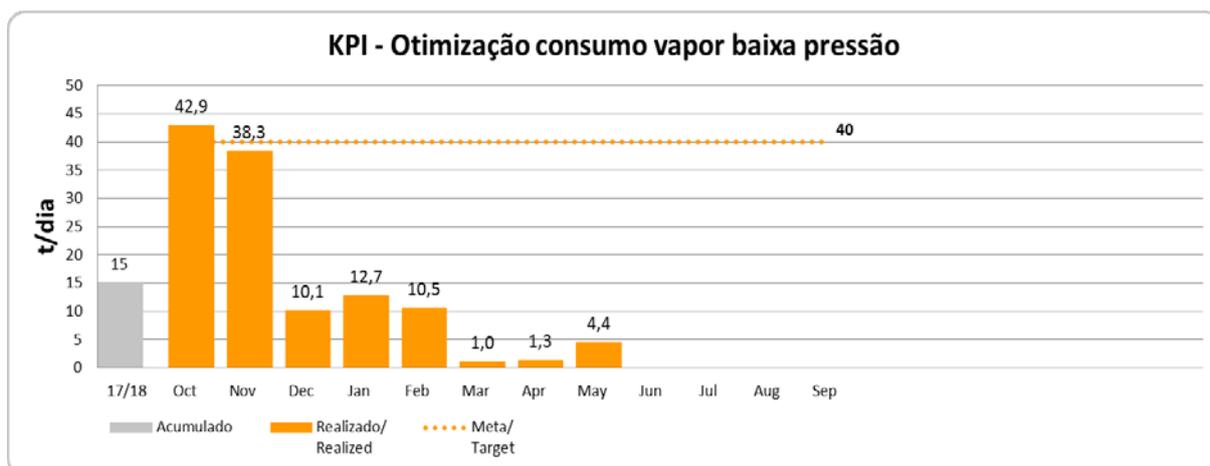
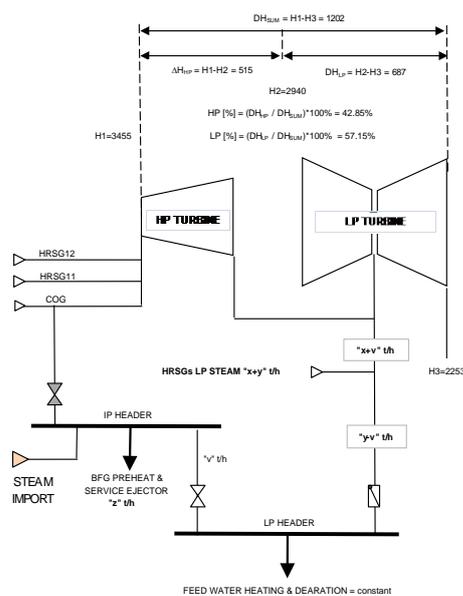


Figura 21 – Manutenção dos resultados e diminuição do desvio padrão

## 3 CONCLUSÃO

Nestes cenários foram realizados mapeamento e avaliado o comportamento do sistema e concluído que, as grandes inversões de fluxo, hora de importação, hora exportação de vapor entre as áreas, o consumo elevado dos ejetores para o chamado vácuo profundo no forno RH, as mudanças frequentes de set point na Aciaria, conforme o “filling” de cada operador, associado a falta de um “buffer”, inseriam no sistema a perturbação. A mudança do modus operandi, trazendo um padrão operacional mostrou que o caminho da estabilização estava correto. Por fim, a integração dos sistemas através de comunicação de dados e rede, e a mudança do conceito de controle de vazão para pressão, permitiu praticamente eliminar as perdas de vapor, aumentar a confiabilidade do sistema, diminuir a interrupção da produção de aço, evitar desperdícios de água, aumentar a eficiência energética do processo, trazer economia financeira e um impacto positivo no processo de redução do preço das placas de aço.



PLD 2017/2018 = R\$ 505,00

Meta =	40 t/d ~ 1,7 t/h
Redução desperdício =	107 t ~ 4,5 t/h
Modo operação 2GTs CC =	5 t/h

**EE = 0,82 \* (7 + 0,57 \* 4,5)/5**

**EE = 1,6 MW/h**

**Ganho de 13.519 MW/ANO**

**"Ganho" R\$ 6.827.382,65**

**Save durante ETAPA CONTROL - maio a Set/17:**

Preço médio EE = R\$367,9  
Descarte médio (perda) = 24,9 t/d

**SAVE USD 616.299,27**

Figura 22 – Energia recuperada e ganho financeiro

## Agradecimentos

À Ternium que nos deu apoio para prosseguir com o desafio.  
À toda a equipe de operadores, Engenheiros e Especialistas que acreditaram que juntos poderíamos quebrar paradigmas.

## REFERÊNCIAS

- 1 Manual sistema de vapor auxiliar e processo de extração de vapor (ALSTOM doc1AHA056618)
- 2 Water Steam Cycle, Process flow diagram (ALSTOM doc 1AHA056403)
- 3 Manual tubulação do sistema de vapor de baixa pressão (ALSTOM doc1AHA056605)
- 4 Comissioning As Built Steam Low Press