

A ESTABILIDADE OPERACIONAL DO LAMINADOR DE TIRAS A FRIO DA USIMINAS CUBATÃO APÓS 10 ANOS DE OPERAÇÃO¹

José Dias Blanco²
José Valdir Amorim Dantas³
Marcelo Magalhães Pereira⁴
Mateus Alexandre da Silva⁵
Sérgio Luiz Muratori⁶

Resumo

A laminação a frio da planta da Usiminas em Cubatão produz bobinas não revestidas, com baixas dispersões de espessura, elevados índices de limpeza e qualidade superficial. Para que isto fosse possível uma reforma completa em seu laminador a frio foi efetuada há dez anos. Após este período foi possível verificar melhorias significativas na qualidade superficial, nos indicadores de produtividade e na redução dos custos operacionais. Além disso, alguns trabalhos de melhoria contínua foram implantados com objetivo de suportar e aperfeiçoar os resultados alcançados. Esse trabalho apresenta os resultados alcançados no período e as otimizações implantadas no laminador a frio.

Palavras-chave: Laminador a frio; Estabilidade; Desempenho; Espessura.

THE TANDEM COLD MILL'S OPERATIONAL STABILITY OF USIMINAS CUBATÃO AFTER 10 YEARS OF OPERATION

Abstract

The cold mill of Usiminas' plant in Cubatão produces coils with low dispersion thickness and high levels of cleanliness and surface quality. To make this possible a complete revamp in it's tandem cold mill was done ten years ago. After this period, it was possible to verify significant improvements in surface quality, in the indicators of productivity and operational costs reductions. Moreover, some works of continuous improvement were implemented in order to support and optimize the results. This paper shows the results achieved in that period and the optimizations implemented in tandem cold mill.

Key words: Tandem cold mill; Stability; Performance; Thickness.

¹ Contribuição técnica ao 46º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 27 a 30 de outubro de 2009, Santos, SP.

² Assistente de Operação da Laminação a Frio da USIMINAS - Cubatão. Técnico em Metalurgia. Membro da ABM.

³ Assistente de Operação da Laminação a Frio da USIMINAS - Cubatão. Técnico em Eletrônica. Membro da ABM.

⁴ Gerente da Laminação de Tiras a Quente da USIMINAS - Cubatão. Engenheiro Metalurgista pela UFOP. MBA em Gestão Empresarial pela FGV. Membro da ABM.

⁵ Gerente de Acabamento a Frio e Inspeção Final da USIMINAS - Cubatão. Engenheiro Metalurgista pela UFOP. MBA em Automação Industrial pela UNISANTOS. Membro da ABM

⁶ Analista de Manutenção da Laminação a Frio da USIMINAS - Cubatão. Engenheiro Elétrico pela Universidade Santa Cecília. MBA em Automação Industrial pela UNISANTOS. Especialista em Sistemas Elétricos de Potência pela UFU. Membro da ABM.

1 INTRODUÇÃO

Ao final da década de 1980 e início da década de 1990 o mercado mundial de aços planos passou a exigir materiais com elevado grau de qualidade, boa limpeza superficial e pequenas dispersões dimensionais. Objetivando a recuperação de competitividade e atendimento a essas novas exigências do mercado, foi de fundamental importância que a Usiminas iniciasse um significativo plano de atualização tecnológica na planta de Cubatão, com um investimento da ordem de 600 milhões de Reais. Esse investimento seria aplicado principalmente na reforma de seu laminador de tiras a frio, nas instalações de uma planta de recozimento à hidrogênio, uma nova linha de encruamento e na reforma de uma das linhas de inspeção.

O laminador de tiras a frio da planta da Usiminas em Cubatão é um laminador tipo quadro, contínuo e de quatro cadeiras. Sua reforma, ocorrida no final de 97 compreendeu a instalação de:

- um púlpito de operação centralizada;
- cápsulas hidráulicas nas quatro cadeiras;
- novos compensadores de coroa nas quatro cadeiras;
- novos sistemas de controle de espessura e de acionamento das cápsulas (AGC e HGC);
- um sistema de troca rápida de cilindros;
- um controle automático de planicidade;
- novos sistemas de refrigeração; e
- um modelo matemático adaptativo.⁽¹⁾

A partir dessa reforma o laminador de tiras a frio passou a ter as seguintes características:⁽²⁾

Capacidade nominal (ton/ano)		1.200.000			
Velocidade máxima (m/min)		1080			
Diâmetro dos cilindros de trabalho (mm)		495 a 575			
Diâmetro dos cilindros de encosto (mm)		1270 a 1422			
Motores principais	Cadeira	1	2	3	4
	Potência (kW)	2 x 1800	2 x 1800	2 x 1800	2 x 1482
	Rotação (rpm)	433 a 1046	433 a 1046	433 a 1046	200 a 485
	Tensão (V)	900	900	900	700
Tipo de material processado		Aço carbono			
Espessura de entrada da tira (mm)		2,00 a 4,75			
Espessura de saída tira (mm)		0,38 a 3,00			
Largura tira (mm)		650 a 1575			
Diâmetro interno da bobina (mm)		610			
Diâmetro externo máximo da bobina (mm)		1930			

A Figura 1 mostra a arquitetura do laminador de tiras a frio após a reforma realizada:⁽³⁾

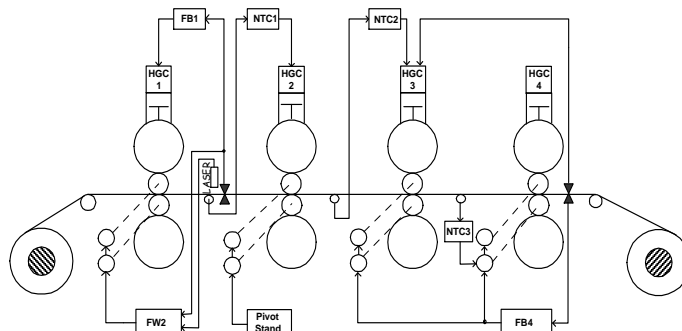


Figura 1 – Esquema do laminador de tiras a frio após a reforma.

2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Desde a reforma, todos os sub-processos e sistemas que compõem o laminador a frio vem sendo acompanhados e estudados, sempre com o objetivo de eliminar os problemas encontrados e buscar a evolução do processo de laminação a frio como um todo. A necessidade de um plano de ação ficou evidente para cada problema encontrado.

Alguns indicadores de desempenho foram utilizados nos estudos, sendo eles subdivididos nas seguintes classes abaixo descritas.

Qualidade:

- rendimento de produto;
- rendimento de inspeção;
- performance de espessura; e
- qualidade superficial.

Produtividade:

- produção mensal;
- eficiência de equipamento (índice de funcionamento); e
- tonelagem horária.

Custos:

- consumo de óleo de laminação; e
- consumo de cilindros.

Suporte:

- plano de melhoria contínua;
- matriz de responsabilidades;
- matriz de versatilidade; e
- gestão autônoma.

2.1 Indicadores de Qualidade

O principal objetivo da reforma do laminador foi a melhoria da qualidade do produto laminado a frio. Através de uma rotina diária de melhorias e otimizações ao longo dos anos pós-reforma resultaram em ganhos da ordem de 88% na redução de desvios e descartes – por falhas do laminador – nas linhas finais.

2.1.1 Rendimento de produto – bobina a frio

É denominado “rendimento de produto” a diferença entre o peso do material carregado na linha de entrada da laminação a frio e o peso do material inspecionado antes de ser enviado ao cliente. Reflete basicamente no rendimento de produto as

perdas por defeitos, também chamados de descarte ou corte. É um excelente indicador para a medição de qualidade e custos.

O gráfico da Figura 2 mostra a redução de descartes nas linhas finais por responsabilidade do laminador a frio. Nele é possível observar uma redução entre os anos de 1998 e 2009, contabilizando um ganho acumulado de 70%.

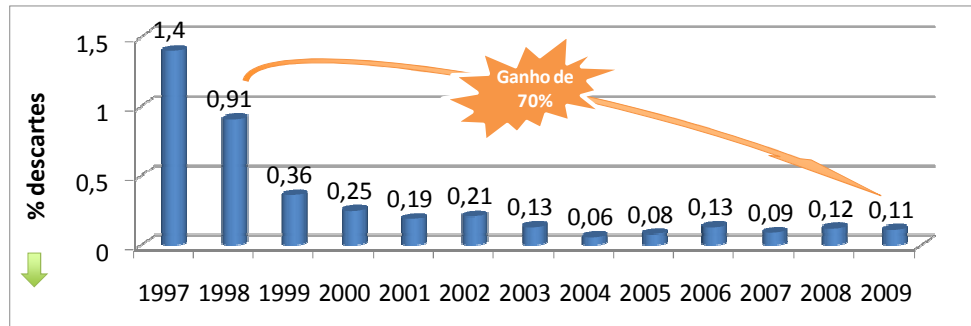


Figura 2 – Rendimento de produto de bobina a frio.

2.1.2 Rendimento de inspeção – chapa fina a frio

É denominado “rendimento de inspeção” a diferença entre o peso do material carregado na linha de entrada da laminação e o peso aprovado para ser entregue ao cliente. Reflete basicamente no rendimento de inspeção as perdas por desclassificação, também chamadas de desvio ou índice de aprovação. É também um excelente indicador para medição de qualidade e custos.

O gráfico da Figura 3 mostra a redução de desvios de chapas nas linhas de tesouras a frio por responsabilidade do laminador a frio. Pode ser observada no gráfico a redução entre os anos de 1998 e 2009, contabilizando um ganho acumulado de 88%.

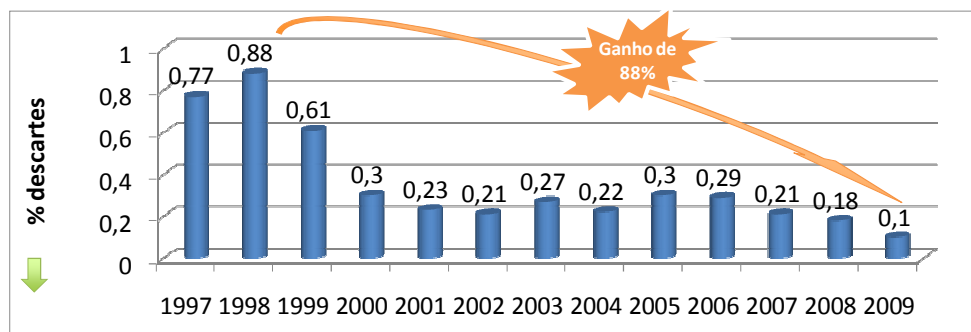


Figura 3 – Rendimento de inspeção de chapa fina a frio.

2.1.3 Performance de espessura

A espessura laminada a frio é o principal atributo da chapa laminada a frio e também um importante indicador de desempenho do laminador a frio.

Ao longo dos últimos anos as tolerâncias de espessura ficaram cada vez mais restritas, isto é, as tolerâncias de variações permitidas foram diminuídas, exigindo implementações de novas malhas de controle e modificações naquelas existentes. A Figura 4 mostra as malhas de controle de espessura que atuam durante o processo de laminação.

Diversos trabalhos foram realizados com o intuito de melhorar a performance⁽³⁾.

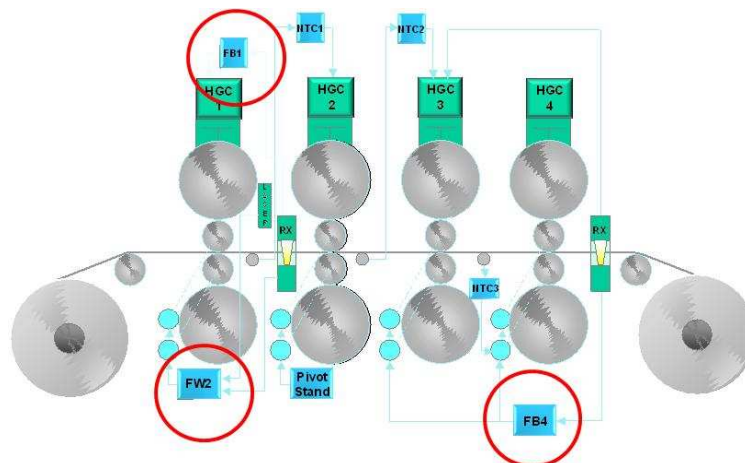


Figura 4 – Malhas de controle de espessura.

Para cada bobina laminada um desvio é calculado com base na espessura nominal de *preset*. O desvio deverá estar dentro dos limites exigidos (especificados) pelos clientes para que não ocorram desvios, caracterizados como perdas.

O gráfico da Figura 5 apresenta a performance de espessura avaliada segundo o desvio padrão do valor da espessura no corpo da bobina. O valor médio encontrado foi de 0,294%.

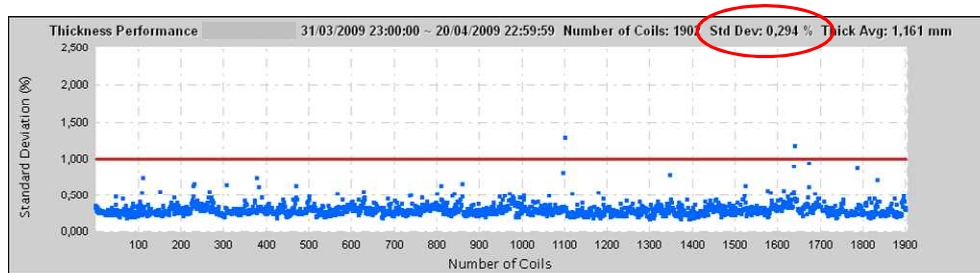


Figura 5 – Performance de espessura.

O gráfico da Figura 6 mostra a evolução das tolerâncias de espessura ao longo dos últimos anos, demonstrando claramente a demanda do mercado por produtos com um índice cada vez maior de uniformidade dimensional.

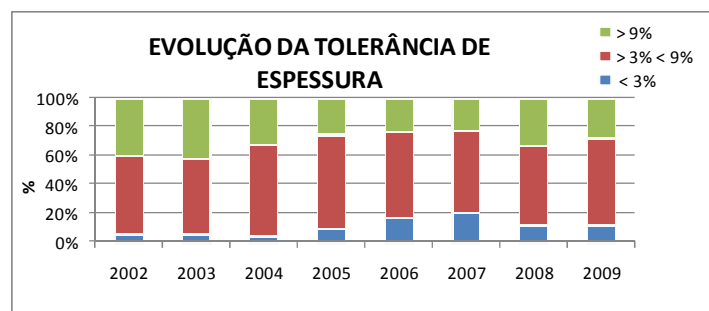


Figura 6 – Evolução da tolerância de espessura exigida pelos clientes.

O gráfico abaixo apresenta a variação de espessura de uma bobina laminada, exemplificando a espessura obtida durante a laminação na planta da Usiminas em Cubatão.

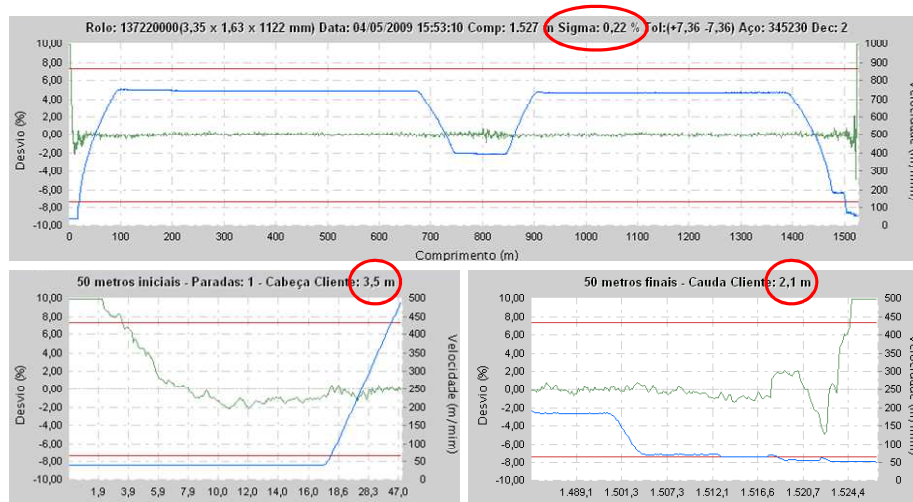


Figura 7 – Espessura de uma bobina laminada.

2.1.4 Qualidade superficial

Após a reforma foi possível verificar uma redução significativa nas ocorrências de defeitos do laminador. Os principais defeitos gerados e que provocam descartes ou recusas nas linhas finais são:

- Ferrugem: oxidação em forma de manchas causada por passagem de solução e propiciada pela deficiência no processo de secagem da tira na saída do laminador a frio.
- Bobinamento irregular: defeito causado por descentralização das espiras do rolo, devido falha ou incapacidade de correção do centralizador de tiras.
- Marcas de sujeira: manchas causadas pelo contato da tira com graxa, sujeiras, lubrificantes em geral ou pela baixa estabilidade da emulsão – utilizada para lubrificação e refrigeração dos cilindros de trabalho.

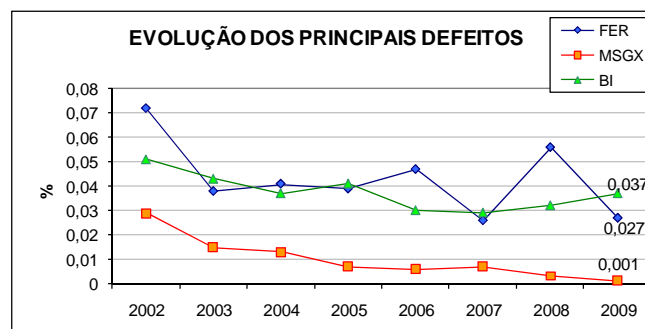


Figura 8 – Evolução dos defeitos do laminador a frio.

As ações tomadas para redução dos defeitos superficiais foram:

- treinamento e implantação de rotinas operacionais;
- otimização do sistema de secagem da tira;
- melhoria nas malhas de controle de espessura;
- redução dos pontos de lubrificação e desenvolvimento de materiais auto-lubrificáveis, reduzindo assim os pontos de lubrificação com graxa; e
- melhoria no tensor de correias, corrigindo o abraçamento da tira no mandril da enroladeira, sobretudo nas primeiras espiras.

2.2 Indicadores de Produtividade

O laminador de tiras a frio possui atualmente uma capacidade produtiva de 1.200.000 t por ano, muito superior à sua capacidade antes da reforma, que era de 840.000 t, e à especificação nominal pós-reforma, que é de 1.028.000 t.⁽⁴⁾

2.2.1 Produção mensal

A produção mensal é calculada pela soma do peso produzido durante o mês. O gráfico da Figura 9 mostra a evolução da produção do laminador ao longo dos anos.

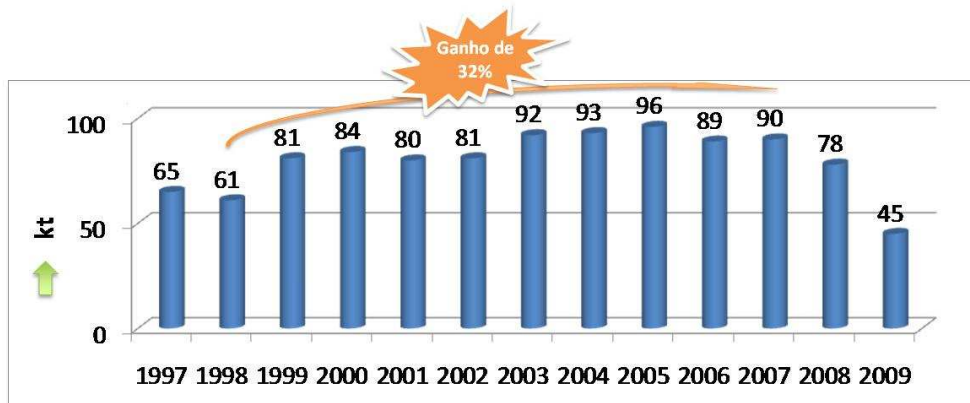


Figura 9 – Evolução da produção média mensal do laminador.

O principal ganho é resultado de um rígido controle diário do binômio eficiência de equipamento x tonelagem horária. Alguns trabalhos e otimizações permitiram que se atingissem esses ganhos.

2.2.2 Eficiência de equipamento

A eficiência de equipamento é o indicador responsável por contabilizar o índice de funcionamento do equipamento.⁽⁴⁾ As formulações para determinação da eficiência de equipamento são apresentadas abaixo:

$$EE = (T_U / T_D) * 100,$$

Sendo

$$T_U = T_D - T_{PE} \quad \text{e} \quad T_D = T_C - T_{PP}$$

EE - eficiência de equipamento;

T_U - tempo de utilização;

T_D - tempo disponível;

T_{PE} - tempo de parada de emergência;

T_C - tempo calendário;

T_{PP} - tempo de parada programada.

O gráfico da Figura 10 mostra os resultados alcançados no período.

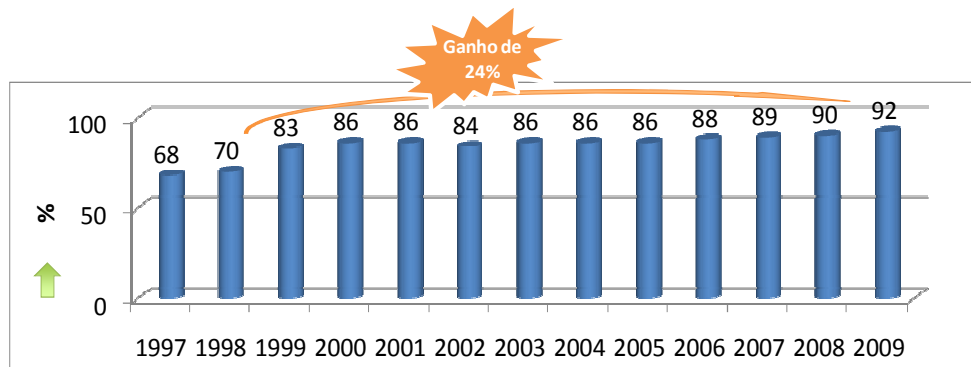


Figura 10 – Evolução da eficiência de equipamento.

As ações tomadas para aumento da eficiência de equipamento foram:

- treinamento de todo efetivo operacional;
- otimização da inversão dos sistemas de refrigeração, quando da necessidade de utilização de detergente em altas e baixas concentrações;
- implantação de sistemas de bloqueios sensorizados na seção de entrada do laminador;
- otimização do sistema de troca de cilindros; e
- redução do número de rupturas por defeitos de matéria-prima e solda.

2.2.3 Tonelagem horária

A tonelagem horária é calculada através da divisão do valor do peso laminado no período pelo tempo de utilização do laminador.⁽⁴⁾ É um indicador importante para contabilização da produtividade e é impactada pela matéria prima, velocidade de laminação, habilidade operacional, entre outras.

O gráfico da Figura 11 apresenta os resultados da evolução da tonelagem horária ao longo dos anos.

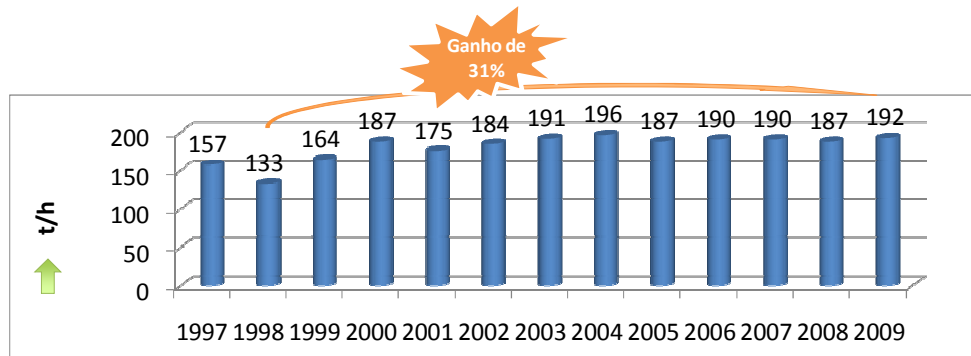


Figura 11 – Evolução da tonelagem horária.

As ações tomadas para aumento da tonelagem horária foram:

- eliminação das causas de laminação em baixa velocidade;
- otimização do encaixe e desencaixe da tira;
- revisão do carregamento dos motores;
- otimização da lubrificação das cadeiras; e
- melhorias no modelo matemático adaptativo.

2.3 Indicadores de Custo

No processo de laminação alguns insumos são necessários, sendo os de maior impacto no custo apresentados abaixo:

- óleo de laminação;
- detergente;
- cilindro de trabalho; e
- cilindro de encosto.

Através de desenvolvimentos matriciais, adequação de rotinas operacionais, auditorias diárias, monitoramentos *on-line* e criação de grupos de trabalho foi possível reduzir o consumo de todos esses insumos.

2.3.1 Consumo de óleo de laminação

No processo de laminação uma emulsão de água e óleo de laminação é utilizada nas cadeiras 2 e 3. O consumo específico do óleo é controlado. Seu valor é obtido através da divisão do total adicionado no sistema pelo peso produzido. O gráfico da Figura 12 mostra a redução do consumo específico de óleo no período.

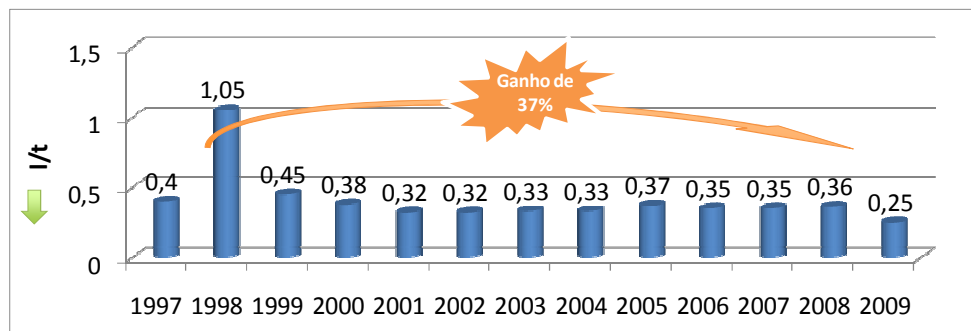


Figura 12 – Diminuição do consumo específico de óleo de laminação

As ações tomadas para redução do consumo de óleo de laminação foram:

- otimização da estratégia de adição de óleo;
- eliminação de vazamentos;
- desenvolvimento de gaxeta auto-lubrificável, eliminando a necessidade de emulsão para lubrificação da gaxeta; e
- implantação de sensores e bloqueios no sistema quando da detecção de vazamentos.

2.3.2 Consumo de cilindros

No laminador de tiras a frio da planta de Cubatão são utilizados quatro pares de cilindros de trabalho e quatro pares de cilindros de encosto.⁽⁵⁾ A razão do consumo de cilindros – em milímetros – pela quantidade de material laminado – em quilo toneladas – é um indicador importante para o controle do processo de laminação. As trocas são efetuadas por comprimento de tira laminada e variam em função da cadeira de laminação onde os cilindros a serem substituídos estão instalados. O gráfico da Figura 13 apresenta os ganhos do período:

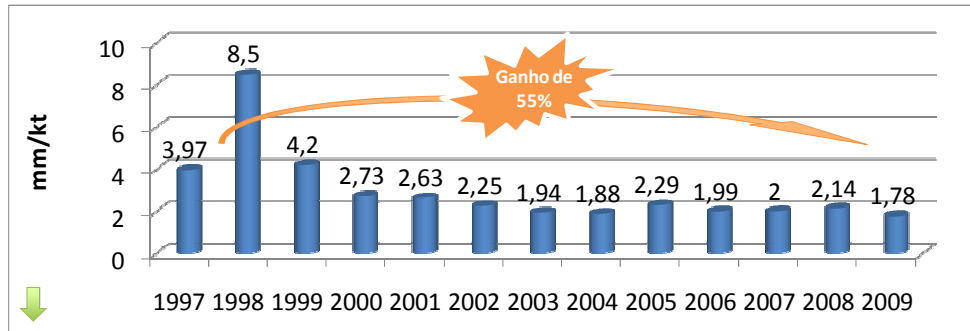


Figura 13 – Diminuição do consumo de cilindros.

As ações tomadas para redução do consumo de cilindros de laminação foram:

- redução das falhas operacionais que geram algum tipo de acidente com os cilindros;
- redução das rupturas de tira por defeitos de matéria-prima e solda;
- otimização dos parâmetros de rugosidade e coroa;
- controle de fornecimento, com maiores exigências sobre a qualidade dos cilindros adquiridos; e
- grupo de estudo permanente para avaliação das causas do aumento do consumo de cilindros.

2.4 Trabalhos de Suporte

Durante os anos após a reforma uma série de trabalhos foram implementados pelas equipes técnicas de apoio para melhoria do controle de processo, melhoria da qualidade, aumento da produtividade e redução de custos.

Os principais trabalhos realizados são citados abaixo:

- plano de melhoria contínua;
- definição de uma matriz de responsabilidades;
- implementação de uma matriz de versatilidade; e
- implantação de gestão autônoma.

2.4.1 Plano de melhoria contínua

Um plano de melhoria contínua contemplando 89 trabalhos para evolução da qualidade, aumento da produtividade, redução de custos e melhoria da qualidade de vida dos empregados foi implementado, conforme apresentado na Figura 14.



Figura 14 – Plano de melhoria contínua.

2.4.2 Matriz de responsabilidades

Foi desenvolvida uma matriz de responsabilidades, determinando a interação entre os grupos de trabalho e a coordenação para cada assunto, conforme a Figura 15:

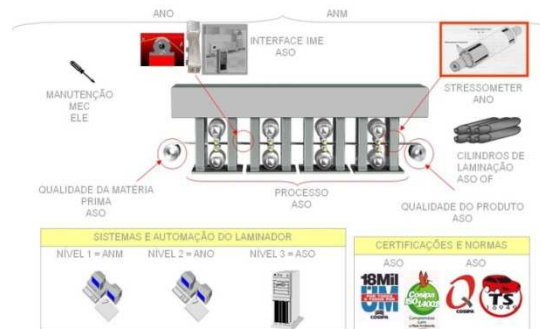


Figura 15 – Matriz de responsabilidades.

2.4.3 Matriz de versatilidade

Para garantir o treinamento e aumentar o nível de conhecimento das equipes foi desenvolvido uma matriz de versatilidade para todos os funcionários da gerência, conforme a Figura 16:

		LAMINADOR DE TIRAS A FRIO									
Reg	Nome	Cargo Atual	RR 16	Cedera 1	Piquete Entrada	Corrente Produção	Esca Retirar	Esca 100%	Cedera 4	Esca de Tira	Esca 100%
8861	ALEXANDRE NELSON DE AND	OP PRODUÇÃO									
8870	ALEXANDRE ROBERTO DE SANTOS	OP PRODUÇÃO									
8891	ALEXANDRE SOUSA REICHEMANN	OP PRODUÇÃO									
8894	ALISSON CAPE	OP PRODUÇÃO									
8732	ANDRÉ LUI DE SANTOS	OP PRODUÇÃO									
8783	DEGO FLORENTINO	OP PRODUÇÃO									
8123	DOUGLAS FERREIRA OLIVEIRA	OP PRODUÇÃO									
8576	ESTERLAND J DOS SANTOS	OP PONTE ROLANTE									
8343	JULSON MENDES DA SILVA	OP PRODUÇÃO									
8881	JOSE FRANCISCO SANTOS FILHO	SUPERVISOR OPERAÇÃO									
8897	JULIO CESAR V DE SOUSA	OP PRODUÇÃO									
8410	LENER APOLINARIO ALENCAR	OP PRODUÇÃO									
8220	MARCO LUI FERREIRA	SUPERVISOR OPERAÇÃO									
8292	MAURICIO MENDES PRATES	OP PRODUÇÃO									
8381	MARCOS DOMINGUES SILVA	OP PRODUÇÃO									
8343	ROBERTO DE JESUS NASCIMENTO	OP PRODUÇÃO									
8245	RONALDO AMARAL DA SILVA	OP PRODUÇÃO									
8931	SERGIUO F RODRIGUES	OP PRODUÇÃO									
8518	SILVIO LUIS A CAVALCANTI	OP PRODUÇÃO									
8723	VALDIR APARECIDO DE SOUSA	SUPERVISOR OPERAÇÃO									
8220	WAGNER ASSIS STRELE	OP PRODUÇÃO									

LEGENDA	
 	Funcionário treinado
 	Funcionário em treinamento
 	Func. capacitado a dar treinamento
 	Func. Afetado
 	Funcionário não treinado
 	Funções críticas para qualidade
 	Treinamento - setor de camera

Figura 16 – Matriz de versatilidade.

2.4.4 Gestão autônoma

A gestão autônoma contribuiu significativamente para a evolução dos processos, equipamentos e operadores, na medida em que atribui responsabilidades para todos os envolvidos, sobretudo para os principais responsáveis pela qualidade do produto, que são os operadores de equipamentos.

3 CONCLUSÃO

Passados dez anos de operação do laminador a frio após sua reforma é possível concluir que:

- a espessura, principal atributo do produto, possui um desvio padrão médio de 0,25% com pontas menores que 15 metros, evidenciando um dos melhores resultados a níveis mundiais em laminados a frio;
- o laminador superou sua especificação nominal quanto à produtividade projetada, atingindo uma eficiência superior a 90% em 2008;
- o custo de produção foi reduzido ano após ano, proporcionado, entre outros motivos, pela diminuição do consumo de cilindros, que na planta de

Cubatão assume valores inferiores a 2mm/kt, um *benchmark* mundial. Além disso, outros insumos tiveram reduções de até 50%; e

- alcançou-se uma redução de até 75% nos descartes e desvios no produto, além de ganhos expressivos nos atributos de produto como, por exemplo, na limpeza superficial.

REFERÊNCIAS

- 1 SANTOS FILHO, A.L.; NOVAES, G.O.; ASSIS, C.F. A Automação na Reforma do Laminador de Tiras a Frio da COSIPA. In: ENCONTRO DE ESPECIALISTAS EM AUTOMAÇÃO, 3, São Paulo, 1999. São Paulo: ABM, 1999.
- 2 PIRES, C.T.A., ET AL. Set-up optimization for tandem cold mills: a case study. In: Journal of Materials Processing Technology, v.173, p.368-375, 2006.
- 3 GIOVANNETTI, M.F., MURATORI, S.L. Otimização do Controle de Espessura do Laminador de Tiras a Frio da COSIPA. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO – PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 44, 2007, Campos do Jordão. São Paulo, ABM, 2007. São Paulo: ABM, 2007.
- 4 OLIVEIRA, A.F., ET AL. Aumento de produtividade do laminador de tiras a frio da Cosipa. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS - ABM, 37, 2000, Curitiba. São Paulo: ABM, 2000.
- 5 OLIVEIRA, A.F., ET AL. Redução do consumo de cilindros de trabalho do laminador de tiras a frio da Cosipa. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS - ABM, 37, 2000, Curitiba. São Paulo: ABM, 2000.