

# GESTÃO DE PERDAS EM PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE LONGOS UTILIZANDO A METODOLOGIA SEIS SIGMA<sup>1</sup>

*Fernando Toshio Okamura<sup>2</sup>*  
*Leonardo Henrique Woitowicz<sup>3</sup>*  
*Line Thalia Lins Proença Meireles<sup>4</sup>*  
*Luis Augusto de Arruda Penteado<sup>5</sup>*  
*Maurício César Baldochi<sup>6</sup>*  
*Patrícia Gobett Colaferro<sup>7</sup>*  
*Rafael Vicentin Caccavali<sup>8</sup>*

## **Resumo**

As perdas metálicas ao longo do processo de laminação de longos estão diretamente relacionadas com o aproveitamento das matérias primas. Esse trabalho objetiva mostrar como a metodologia Seis Sigma permitiu refinar o gerenciamento das perdas aumentando o aproveitamento dos tarugos. Utilizando a metodologia do PDCA aliada a ferramentas Seis Sigma, o processo foi mapeado, as fontes de perda foram identificadas e quantificadas, ações de controle foram definidas tomadas e os resultados obtidos foram avaliados. O refinamento dos sistemas de controle das perdas metálicas garantiu maior aproveitamento das matérias primas. Com isso, melhorou-se o desempenho do processo de laminação tornando-o mais eficiente.

**Palavras-chave:** Perdas metálicas; Seis Sigma; PDCA.

## **METALLIC LOSS MANAGEMENT IN A ROLLING MILL PROCESS USING SIX SIGMA METHODOLOGY**

### **Abstract**

In a rolling mill process, metallic losses are strictly related to the use of the billets. This paper shows how Six Sigma Methodology allowed refining the management of the metallic losses increasing the billet use. Using PDCA methodology and Six Sigma tools, the process was systematized, sources of metallic losses were identified and measured, control actions were taken and the given results were checked. The improvement of the metallic losses control assured better use of the input billets. With these actions the performance of the rolling mill increased making it more efficient.

**Key words:** Metallic losses; Six Sigma; PDCA

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

<sup>2</sup> *Engenheiro Mecânico da ArcelorMittal Piracicaba*

<sup>3</sup> *Engenheiro de Controle e Automação da ArcelorMittal Piracicaba*

<sup>4</sup> *Engenheira Civil da ArcelorMittal Piracicaba*

<sup>5</sup> *Gerente de Produção da Laminação da ArcelorMittal Piracicaba*

<sup>6</sup> *Engenheiro Eletricista da ArcelorMittal Piracicaba*

<sup>7</sup> *Engenheira Ambiental da ArcelorMittal Piracicaba*

<sup>8</sup> *Engenheiro de Produção da ArcelorMittal Piracicaba*

# 1 INTRODUÇÃO

As perdas metálicas que acontecem ao longo do processo de laminação estão diretamente relacionadas com o aproveitamento das matérias primas. Tendo em vista o mercado competitivo e as diretrizes ambientais de melhor aproveitamento dos recursos utilizados, o objetivo desse projeto foi de diminuir sistematicamente as perdas metálicas do Laminador 2 (Figura 1) da ArcelorMittal Piracicaba aumentando a eficiência do laminador.

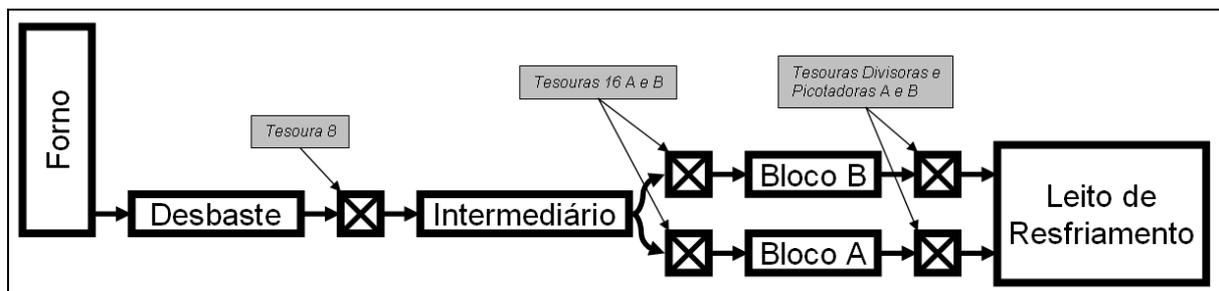


Figura 1. Layout do Trem Laminador 2

O Laminador da ArcelorMittal Piracicaba é um laminador Danielli dedicado a produção de vergalhões para construção civil e está em operação desde 2004.

Para a realização desse projeto, foi utilizada a metodologia *Six Sigma*, juntamente com ferramentas como o Mapa de Processo e o Mapa de Raciocínio (PEREZ-WILSON, 1999). O objetivo desse trabalho é mostrar como as perdas metálicas foram sistematicamente reduzidas e como a metodologia do trabalho garantiu a manutenção dos bons resultados

O desenvolvimento desse projeto passou por etapas distintas, a saber: identificação das fontes de perda metálica, quantificação de cada fonte de perda, estabelecimento de metas específicas, desenvolvimento e implementação de um plano de ação, verificação da eficácia das ações e por fim padronização dos resultados e geração de conhecimento. Cada uma dessas etapas que compõe o ciclo do PDCA (WERKEMA, 1995) será detalhada nesse trabalho.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho, foi utilizada a metodologia do PDCA (*Plan, Do, Check, Act*). A etapa de planejamento tem por objetivo conhecer o processo e o problema a fim de que se possa estabelecer um plano de ação para alcançar a meta estabelecida. Na etapa de desenvolvimento, as ações são implementadas demandando engenharia de novos equipamentos, modificações no processo e treinamento das equipes. A etapa de verificação garante que se verifique se cada ação causou o efeito desejado e aquelas que não atingiram seu objetivo são reavaliadas e reimplementadas. Na etapa final, as práticas são solidificadas e sua manutenção na rotina é garantida.

O objetivo do planejamento é estratificar as origens do problema a fim de gerar-se um plano de ação que atue nas causas principais e que garanta o atendimento da meta. Para o caso das perdas metálicas as seguintes etapas foram realizadas:

## 2.1 Identificação das Perdas Metálicas

As perdas metálicas foram classificadas em dois grandes grupos: perdas inerentes ao processo e perdas acidentais. As inerentes são necessárias ao processo, ou seja, não podem ser eliminadas, mas podem ser controladas e devem ser minimizadas. São exemplos: perda ao fogo por formação de carepa no tarugo, despontes de cabeça e cauda e barras curtas, que não atingem o comprimento comercial. As perdas acidentais são decorrentes de irregularidades nos equipamentos ou de problemas operacionais, que causam uma anomalia no processo e, conseqüentemente, a perda da barra em processo. A seguir é mostrada uma árvore que contém as principais fontes de perda metálica ao longo do processo:

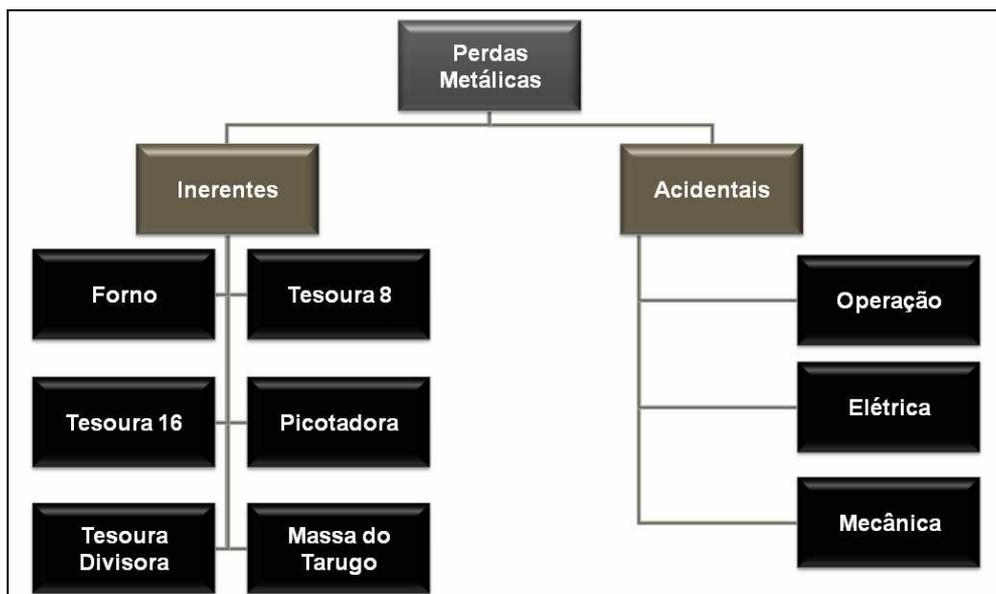


Figura 2. Mapa das perdas metálicas.

Dentro do grupo das perdas inerentes, tem-se:

- *Perda ao Fogo*: Essa é uma perda metálica resultante da oxidação da superfície do tarugo formando óxidos de ferro ( $Fe_2O_3$  e  $Fe_3O_4$ ). A carepa é formada em atmosferas oxidantes e ocorre principalmente no forno de reaquecimento. Alguns fatores que influenciam sua formação são: tempo de exposição, pressão interna do forno, temperatura das zonas, relação ar/gás, entre outros.
- *Perda na Tesoura 8*: Esse equipamento é responsável por eliminar trincas que surgem no material que influenciam na qualidade do produto final. Esses defeitos são implicados pela qualidade do corte do tarugo, onde cortes irregulares aumentam a magnitude das trincas. Além da qualidade do produto podem também prejudicar a qualidade do processo. São feitos dois despontes em todas as barras (um na cabeça e um na cauda).
- *Perda na Tesoura 16*: Na tesoura 16 é feito um desponte de cabeça para eliminar a ponta fria e trincas e assim garantir a qualidade da barra na última etapa de conformação do material que ocorre nos blocos acabadores. Esse desponte é feito em todas as barras e é uma fonte de perda metálica.
- *Perda na Tesoura Picotadora*: A barra em processo nem sempre gera um múltiplo inteiro de barras acabadas. A tesoura picotadora é responsável por eliminar barras curtas que não possuem valor comercial de venda.

- *Perdas nas Tesouras Divisoras*: Essas tesouras são responsáveis por cortar a barra em múltiplos do corte comercial. Como a velocidade de laminação é muito alta nessa etapa do processo (chegando a 30 m/s em algumas bitolas), a confiabilidade do equipamento é fator determinante para garantir repetibilidade e precisão no corte. A imprecisão do corte gera barras maiores ou menores que também são fonte de perda metálica.

As perdas acidentais que ocorrem possuem origens diversas. São citados três grandes grupos de perdas: operacionais, elétricas e mecânicas. A gestão dessas perdas é feita dia a dia com melhorias nos processos existentes.

## 2.2 Quantificação das Fontes de Perda Metálica

Uma vez identificadas as fontes de perda metálica, a etapa seguinte é a quantificação dessas perdas. Para cada fonte de perda foram feitas as seguintes perguntas: Existe um sistema de quantificação? Esse sistema é confiável? Assim foi necessário um trabalho de garantir que todos os procedimentos de quantificação de perdas metálicas fossem avaliados e que os inexistentes fossem criados. A partir daí, foi feito um pequeno histórico das medidas e as perdas metálicas foram estratificadas de acordo com cada fonte de perda metálica:

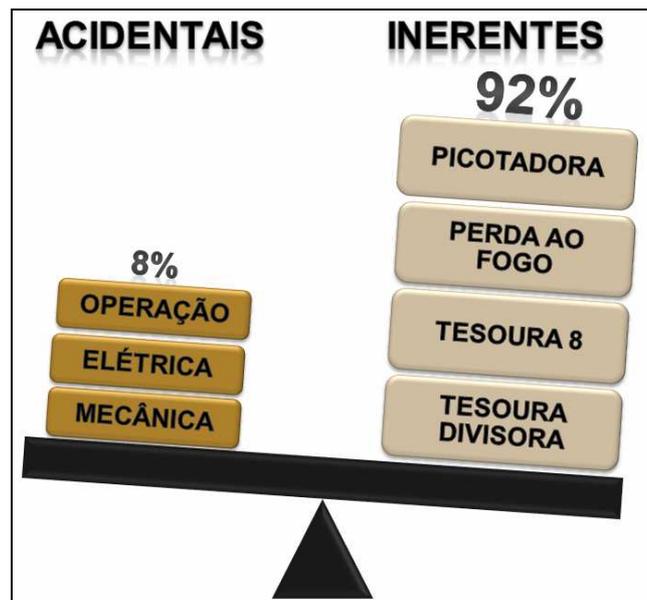
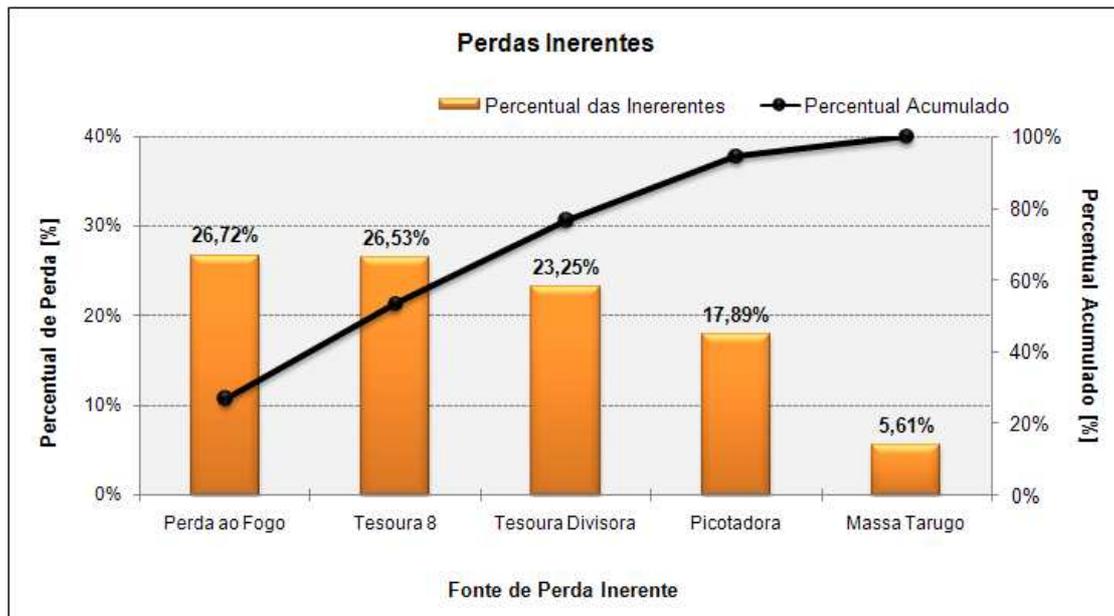


Figura 3. Estratificação das perdas inerentes e acidentais.

A Figura 2 mostra que as perdas inerentes correspondem a 92% das perdas metálicas do processo. Isso mostra que, apesar de necessárias, o controle efetivo dessas perdas poderia levar a um aumento significativo do aproveitamento dos tarugos. Essas perdas foram então estratificadas de acordo com cada fonte de perda.

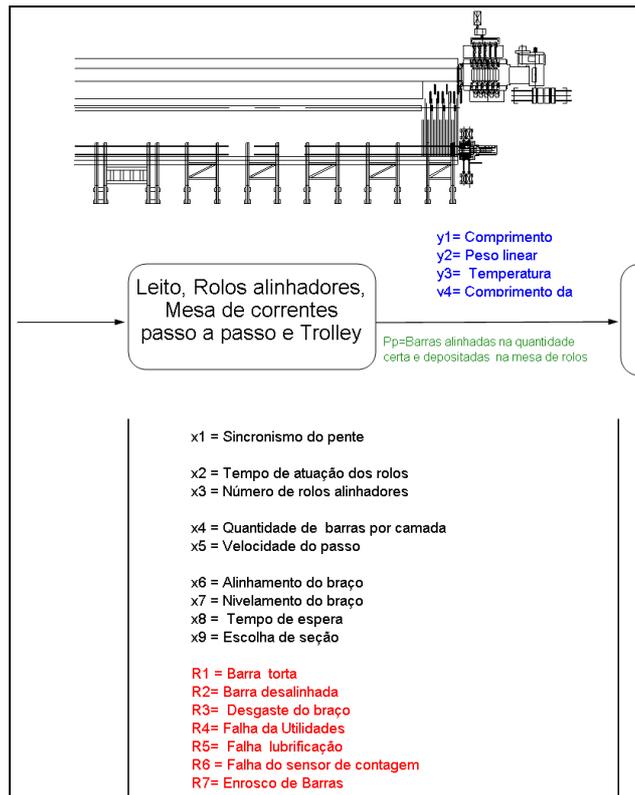


**Figura 4.** Estratificação das perdas inerente.

A Figura 4 mostra que a perda ao fogo por formação de carepa, a perda por desponte e picotamento na tesoura 8 e as perdas ocorridas por imprecisão do corte nas tesouras divisoras são responsáveis por praticamente 80% das perdas inerentes totais.

### 2.3 Estabelecimento das Metas Específicas

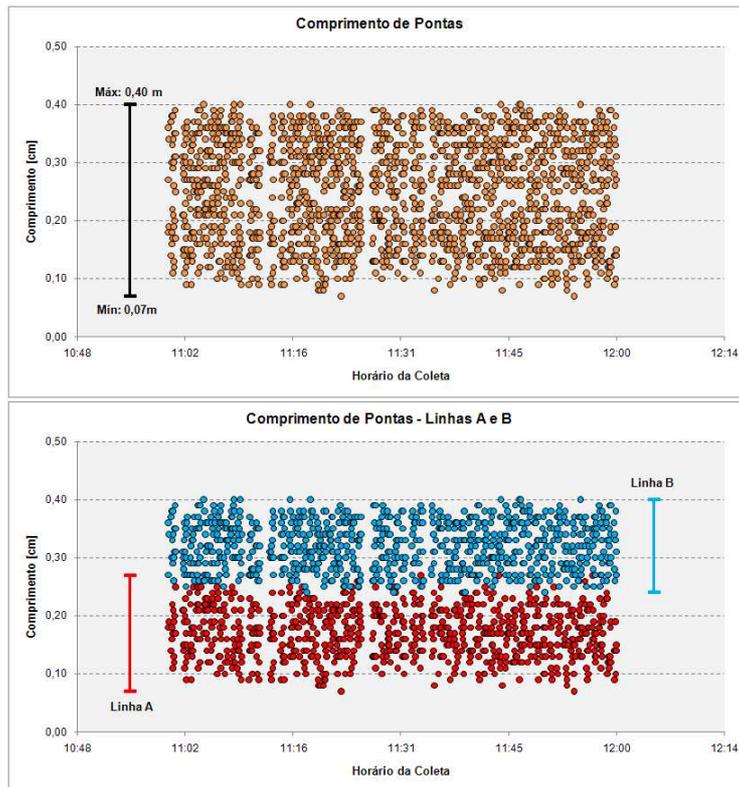
Nesse ponto do trabalho o conhecimento das variáveis de processo que influenciam cada uma das fontes de perda metálica tornou-se necessário a fim de elaborar-se um plano de ação para a redução das perdas. O mapa de processo é uma ferramenta *Six Sigma* que consiste em levantar variáveis de atuação, ruídos, entradas, saídas e indicadores de qualidade de um processo e de seus sub-processos. Assim, fica mais fácil estabelecer um relacionamento entre as variáveis de atuação e os efeitos desejados. A figura 5 exemplifica parte do mapa de processo desenvolvido. Neste mapa, “Y” representa um parâmetro de qualidade do produto deste sub-processo. “X” representa um parâmetro de processo sobre o qual se pode atuar e “R” é um ruído que pode prejudicar a qualidade do produto final do processo.



**Figura 5.** Parte do mapa de processo.

O conhecimento do processo fornecido pelo mapa de processo e o histórico das perdas possibilitou criarem-se metas específicas para cada uma das principais fontes de perda metálica. Com isso, estabeleceu-se como meta de redução de 10% das perdas metálicas. Essa meta foi desdobrada para cada fonte de perda de acordo com a peculiaridade de cada um dos sub-processos envolvidos. As causas levantadas das principais fontes de perda são listadas a seguir:

- *Forno*: detectada uma incoerência entre o ritmo do laminador e a potência térmica do forno. Com isso havia um superaquecimento dos tarugos em momentos de redução de ritmo ou mesmo parada do laminador. Além disso, pontos de entrada de ar falso foram identificados. Esse ar falso que entrava no forno alterava a relação ar-gás do forno, tornando a atmosfera muito oxidante.
- *Tesoura 8*: os despontes feitos pela tesoura oito eram configurados apenas por parâmetros de receita e não havia um acompanhamento analítico por parte do operador para que o desponte fosse o menor possível. Análises estatísticas do processo de corte também demonstraram que a variabilidade da tesoura no corte dos despontes também era muito grande.
- *Tesoura Divisora*: também nesta tesoura, análises estatísticas do processo mostraram uma grande variabilidade do processo, que fazia com que houvesse uma diferença de comprimento entre barras. E esse excedente entre o comprimento cortado e o comprimento comercial é uma perda metálica. Esse estudo da variabilidade do corte (Figura 6) mostra também que outro problema era o ajuste entre as linhas de laminação (A e B).



**Figura 6.** Análise da variabilidade do corte nas tesouras divisoras.

No primeiro gráfico da Figura 6, observa-se uma grande variabilidade no tamanho das pontas coletadas (de 7 cm a 40 cm). Porém, ao estratificar-se por linha de laminação (segundo gráfico), verifica-se que a variabilidade é reduzida (de 7 cm a 27 cm na linha A e de 24 cm a 40 cm na linha B). Evidenciando-se então que apesar da variabilidade do corte oriundo da tesoura, havia também um procedimento operacional que poderia ser refinado.

A partir desse cenário, foi elaborado um plano de ação utilizando a ferramenta 5W1H que estabeleceu ações de controle para cada uma das fontes de perda a fim de se alcançar a meta estabelecida.

## 2.4 Execução

As ações contidas nos plano de ação buscaram minimizar as causas principais de perdas metálicas desnecessárias dentre as quais podemos citar:

- *Forno*: melhoria no modelo matemático, alterando algumas curvas de aquecimento e o perfil de temperatura do forno durante paradas. Essas ações minimizaram as perdas principalmente durante paradas. Além disso, recuperação de portas e melhoria na vedação reduziram a entrada de ar falso e conseqüentemente contribuíram para redução da oxidação dos tarugos.
- *Tesoura 8*: após análise de dados operacionais e devidos tratamentos estatísticos, estabeleceram-se metas de despontes de cabeça e cauda. O estabelecimento das metas foi acompanhado de melhorias no acesso à tesoura para que a coleta de amostras fosse facilitada. Estabeleceu-se que a cada duas horas fossem coletadas cabeça e cauda de uma barra e que seu peso, comprimento e qualidade fossem avaliados. O desenvolvimento de procedimentos e a avaliação crítica por parte da operação e da supervisão aumentaram o controle, mantendo a qualidade do produto final e garantindo

redução das perdas metálicas. Os dados começaram a ser armazenados eletronicamente e verificados pela supervisão. Melhorias na automação da tesoura, garantindo maior precisão do instante de corte também melhoraram as perdas devido à variabilidade no comprimento do desponte.

- *Tesoura divisora*: foi sistematizado ajuste das linhas, desmitificando que essa perda metálica deve-se exclusivamente à variabilidade da tesoura. Foram elaborados e revisados procedimentos operacionais de ajuste do comprimento e criadas marcações que facilitam a visualização do desempenho dos ajustes. Assim, a avaliação da condição operacional permite ao operador buscar um ponto operacional alvo que minimiza as perdas.

## 2.5 Padronização

Uma das etapas mais importantes do processo é a padronização. Através dela, garante-se que as melhorias implementadas pelo projeto solidifiquem-se na rotina do laminador. Para isso, procedimentos operacionais foram modificados ou criados e o pessoal envolvido nas atividades treinado.

## 3 RESULTADOS

Essa etapa consiste na verificação do alcance das metas específicas e conseqüentemente da meta global. Para as principais fontes de perda são mostrados os gráficos que mostram a comprovação dos resultados:

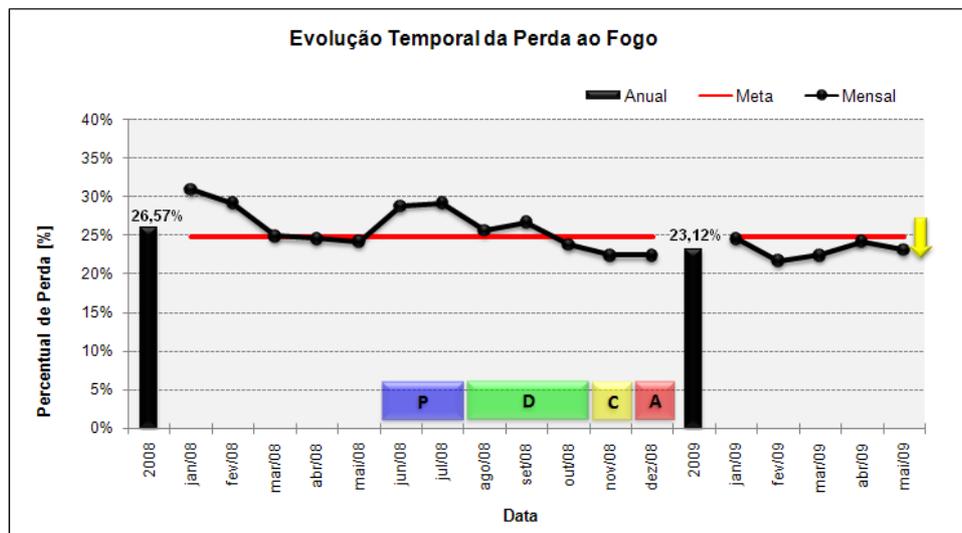


Figura 7. Evolução da perda ao fogo.

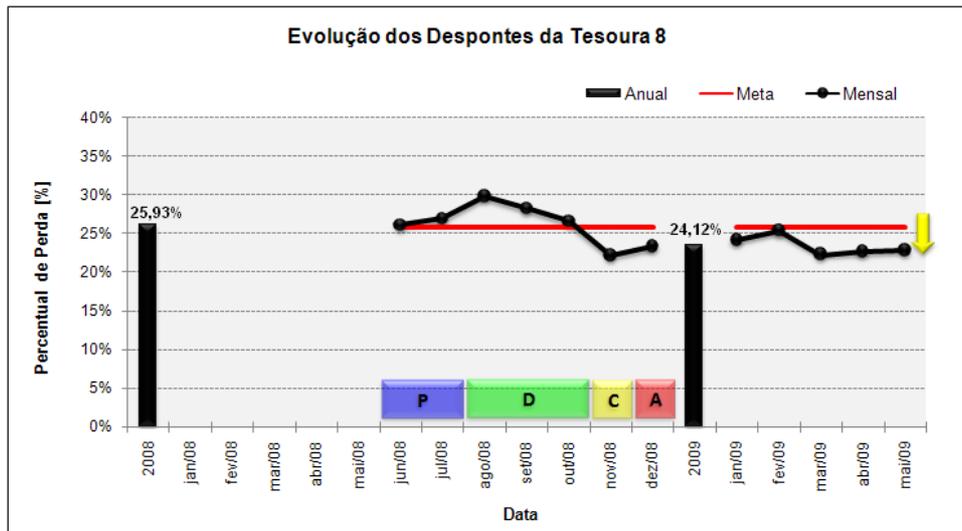


Figura 8. Evolução da perda na tesoura 8.

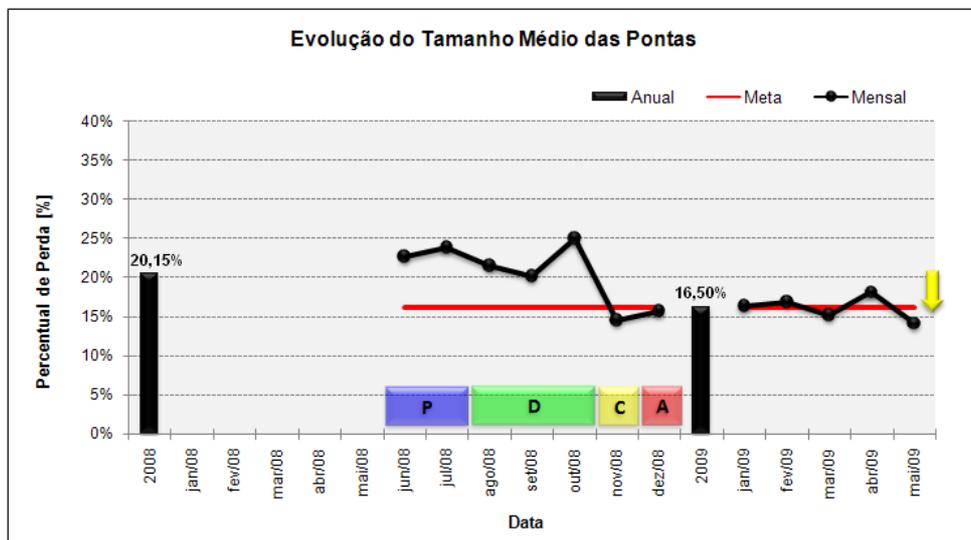


Figura 9. Evolução da perda devido ao corte da tesoura divisora.

Observa-se que as metas específicas foram alcançadas e que se conseguiu sistematicamente reduzir-se as perdas metálicas, ou seja, para uma mesma quantidade de matéria prima, faz-se maior quantidade de produto acabado.

#### 4 DISCUSSÃO

O controle das fontes inerentes de perda metálica se mostrou muito eficiente no aumento do rendimento. O trabalho mostra que essas perdas têm impacto significativo na produção mensal (90% das perdas são inerentes).

O trabalho guiado por ferramentas como o Mapa de Raciocínio, facilita o desenvolvimento no sentido de focar o trabalho. As soluções propostas se tornam pontuais e acabam por reduzir custos de retrabalho.

#### 5 CONCLUSÃO

A metodologia de desenvolvimento de projetos através do PDCA juntamente com ferramentas como o mapa de raciocínio e o mapa de processo guiaram o bom

andamento desse trabalho. A formalização das atividades guiadas através de uma série de perguntas e respostas propostas no mapa de raciocínio levou a uma solução objetiva do problema e sem retrabalhos.

As perdas metálicas ao longo do processo foram minimizadas e o controle das perdas inerentes se mostrou muito eficiente para otimizar o aproveitamento das matérias primas. Lembra-se que, além de minimizar as perdas metálicas, o controle das fontes de perda diminuiu também o consumo de outros insumos como gás natural e energia elétrica garantindo o alinhamento com as políticas de sustentabilidade e qualidade.

## **REFERÊNCIAS**

PEREZ-WILSON, M. *Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios*. Tradução Bazan Tecnologia e Lingüística. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1999.

WERKEMA, M. C. C. *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.