

# MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS E PROJETO DO CABEÇOTE DO MANDRIL DA DESENROLADEIRA DA LPBQ#3<sup>1</sup>

*Alvim Teixeira de Carvalho<sup>2</sup>*

*Emilson Loche<sup>3</sup>*

*Luiz Eduardo de Souza<sup>4</sup>*

*Thiago Ozório da Cunha Chaves<sup>5</sup>*

## Resumo

Com a responsabilidade de atender a uma fatia considerável do portfólio de encomendas de bobinas a quente (BQ) e bobinas a quente decapada, as Linhas de Preparação de Bobinas a Quente (LPBQ's), representam uma linha de mercado muito importante às expectativas de vendas da CSN. Devido a um histórico de falhas crônico associado à seção de entrada da LPBQ#3, mais especificamente no mandril da desenroladeira, foi feita uma avaliação profunda e criteriosa do equipamento e de seu projeto original, a fim de reduzir o número de intervenções com perda de produção. As ações foram sendo tomadas e desenvolvidas com foco na manutenibilidade do conjunto pela área após a entrega do projeto, bem como uma fácil aquisição e/ou confecção de sobressalentes. A modernização dos sistemas hidráulicos também garantiu ao conjunto melhor controle e eficiência nas ações de posicionamento e potência hidráulica do equipamento. Após a implantação deste projeto, em meados de Setembro de 2010, o número de não conformidade, associada à quebra de mandril, foi reduzida. Houve um sensível aumento de disponibilidade e confiabilidade da máquina e controle à exposição de riscos operacionais relativo às falhas conexas à quebra de mandril.

**Palavras-chave:** Desenroladeira; Mandril; Hidráulico; Projeto.

## HYDRAULIC SYSTEMS MODERNIZATION AND UNCOILER MANDREL HEAD PROJECT OF LPBQ#3

### Abstract

With the Responsibility to match a considerable part of the hot coils (BQ) and pickled hot coils orders, the Hot Coils Preparation Line (LPBQ's), represent a very important line of CSN sales market expectations. Due to the breakdowns history associated to LPBQ#3 entrance sections, specifically on the uncoiler mandrel, was done a careful evaluation of equipment and original project, in order to reduce the number of interventions with production looseness. After the project delivery, some actions had been taken and developed by workers in the area with focus on maintenance, as well as an easy acquisition and/or production of spare parts. The hydraulic systems modernization also ensures a better performance and control on positioning of equipment and hydraulic power. After the implantation of this project, in middle of September 2010, the number of non conformities, associated to break down of mandrel, had been reduced. A sensible increasing of availability and trustworthiness of machine was noticed, as well as the exposure of operational risks involved to mandrel damages.

**Key words:** Uncoiler; Mandrel; Hydraulic; Project.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

<sup>2</sup> *Técnico de Mecânica – Técnico de desenvolvimento II, CSN/GGOS/GEM*

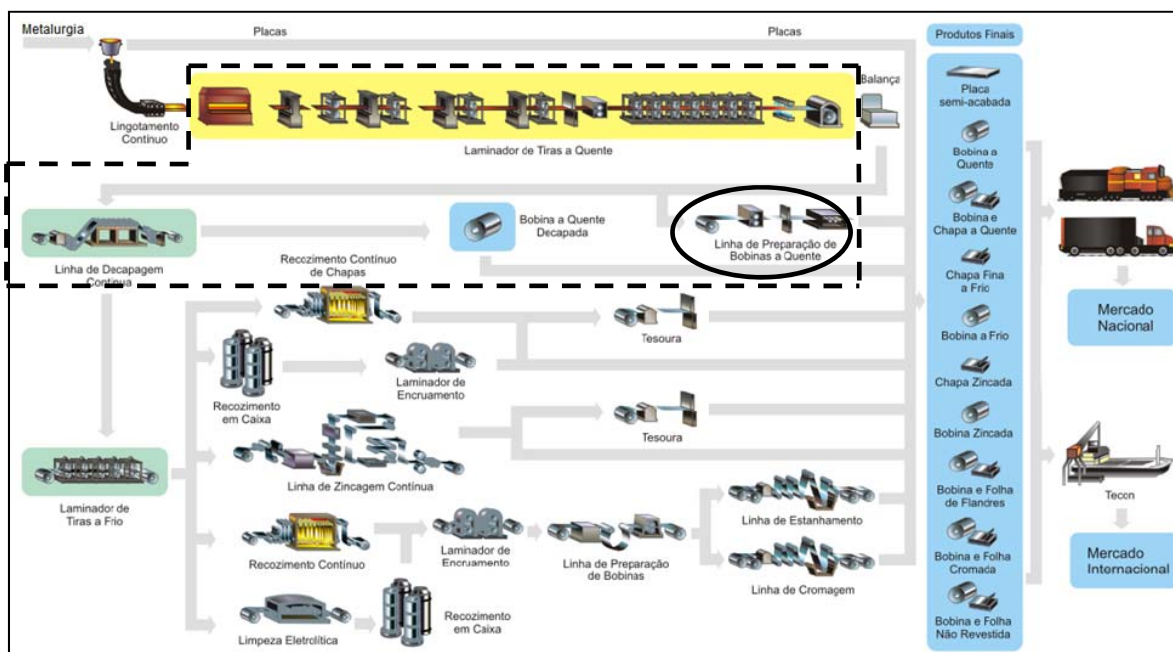
<sup>3</sup> *Técnico de Mecânica – Técnico de desenvolvimento especialista, CSN/GGOS/GEM*

<sup>4</sup> *Técnico de Mecânica – Técnico de desenvolvimento II, CSN/GGLQ/GMD.*

<sup>5</sup> *Engenheiro Mecânico – Engenheiro de desenvolvimento júnior, CSN/GGOS/GEM.*

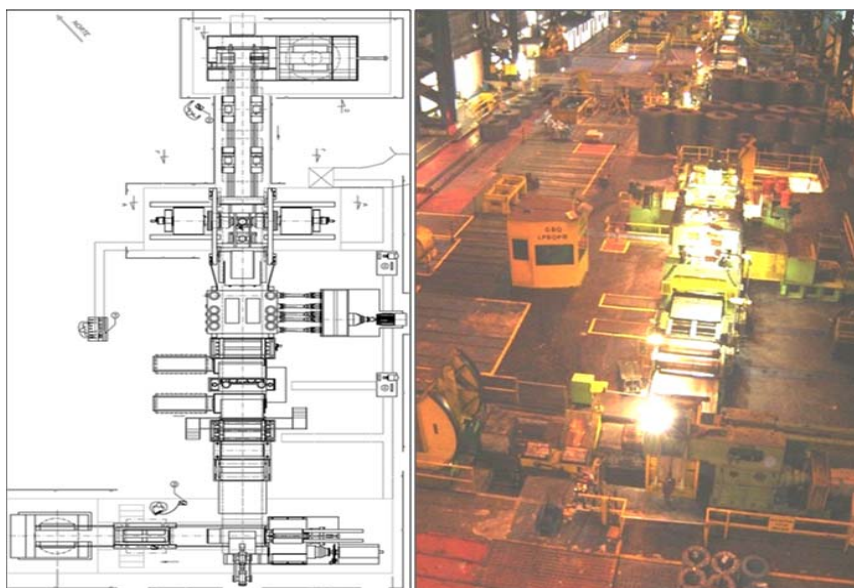
# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a Gerência Geral de Laminados à Quente, possui três linhas de beneficiamento de bobinas à quente, estas linhas são denominadas “Linha de Preparação de Bobina à Quente (LPBQ)”, representando um volume de produção médio mensal de 170.000 toneladas (sendo a LPBQ#3 responsável por 40.000 ton./mês).



**Figura 1.** Fluxo produtivo da Usina Presidente Vargas a partir da metalurgia, destacando a Gerência de Laminados à Quente (GGLQ), e a Linha de Preparação de Bobinas À Quente (LPBQ).

A LPBQ#3 tem como escopo principal dividir as bobinas maiores em itens menores, de acordo com as encomendas de clientes externos ou limitações de linhas seguintes ao fluxo produtivo integrado. Gerando ganho de disponibilidade ao Laminador de Tiras à Quente nº2 (LTQ#2) para o processamento de placas longas, aumentando a produtividade do equipamento por volume laminado.



**Figura 2.** Desenho de layout e fotografia da Linha de Preparação de Bobinas à Quente número 3.

Um dos equipamentos de maior utilização em um processo de laminação, é seguramente, uma desenroladeira de bobinas, responsável não somente pela ação de desenrolamento, sendo também, protagonista na imposição do esforço no sistema de tensão e na geração da tensão atuante no processo.

O mandril (Figura 3) é basicamente o equipamento entorno do qual, a bobina será enrolada e/ou desenrolada, moldando-a em torno de si, formando assim o seu diâmetro interno. A linha trabalha com os semi-mandris da desenroladeira (entrada) sincronizados com o mandril da enroladeira (saída), adotando a variação do diâmetro como principal *feedback* para o estabelecimento da velocidade de processamento, e subsequentemente da tensão de bobinamento. Devido à importância estratégica do mandril sobre o funcionamento da desenroladeira, este equipamento onera maiores cuidados sob a ótica da manutenção, principalmente devido a sua complexidade de controle.

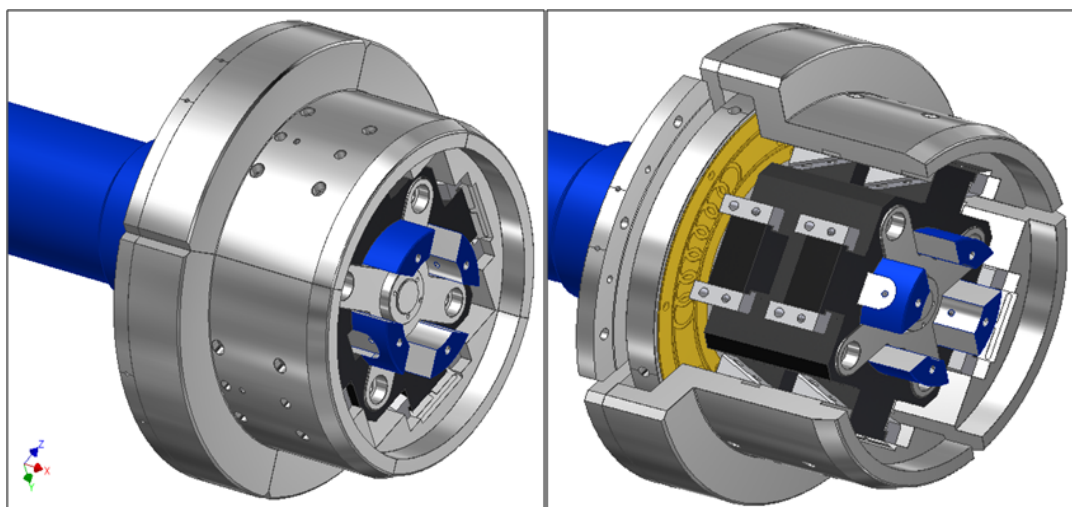


Figura 3. Desenho em 3D do semi-mandril da Desenroladeira da LPBQ#3, montado em seu eixo.

Neste trabalho estaremos abordando o comprometimento da disponibilidade operacional e a baixa confiabilidade em função de ocorrências repetitivas de falhas do conjunto mandril da desenroladeira da LPBQ#3. Uma vez identificadas às causas fundamentais das não conformidades, foram elaborados planos de ação que desencadearam o desenvolvimento de projetos, verificações de abrangência dos resultados e a padronização das ações.

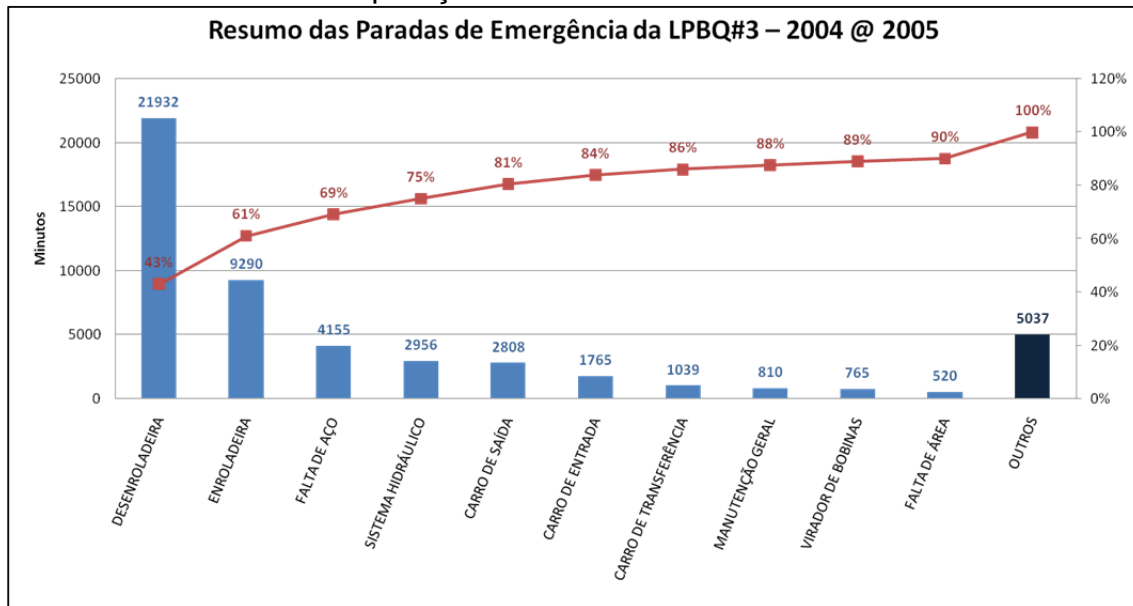
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos para esclarecimento das causas fundamentais das falhas ocorridas no mandril foram norteados pelo Método de Solução de Problemas, objetivando uma abordagem direta e assertiva às não conformidades identificadas.

### 2.1 Diagramas de Pareto

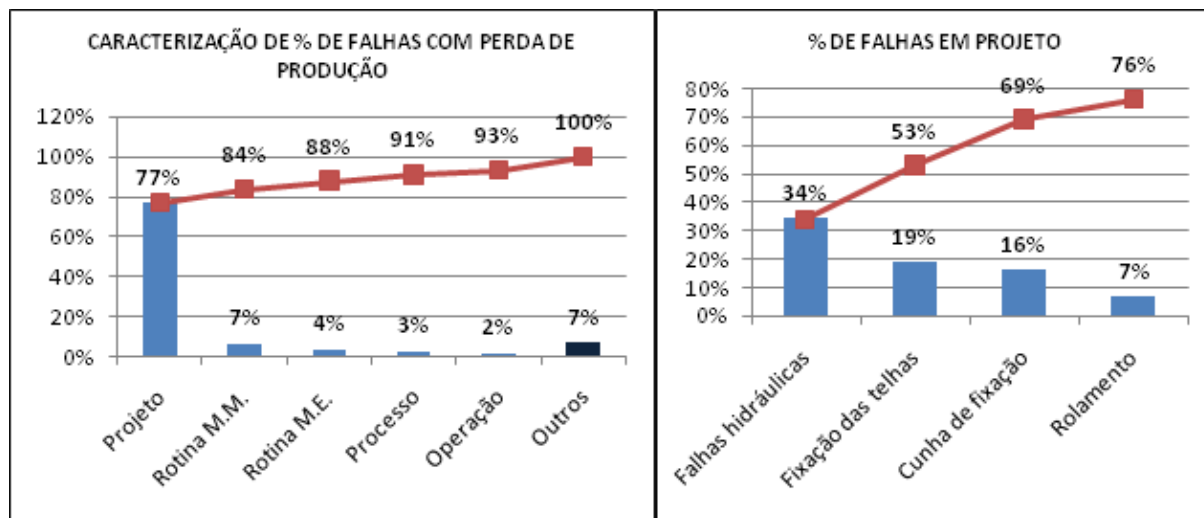
Para uma análise dos problemas mais influentes sobre as paradas com perdas de produção da LPBQ#3, foi realizado um levantamento estatístico, traduzido através do diagrama de Pareto, dos principais equipamentos (unidades funcionais) geradores de paradas, dividindo-os em duas etapas:

### 2.1.1 1ª Etapa: Fase de start up, compreendida entre os anos de 2004 e 2005 Período inicial de operação.



**Figura 4.** Extratificação de paradas com perda de produção na LPBQ#3, durante o período de start up da linha (2004 e 2005), indicando a “Unidade funcional Desenroladeira” como principal causadora de paradas com perda de produção no período, responsável por uma perda de 15,2 dias de produção, sendo equivalente a 20.925 toneladas.

A fim de identificar os principais itens a serem submetidos a um *brainstorm*, realizou-se uma apuração dos registros de análise de falhas da desenroladeira, Figura 5, abordando as principais causas apuradas, que de modo geral, encerravam-se em sua grande maioria a desvios e/ou incoerências de projeto.

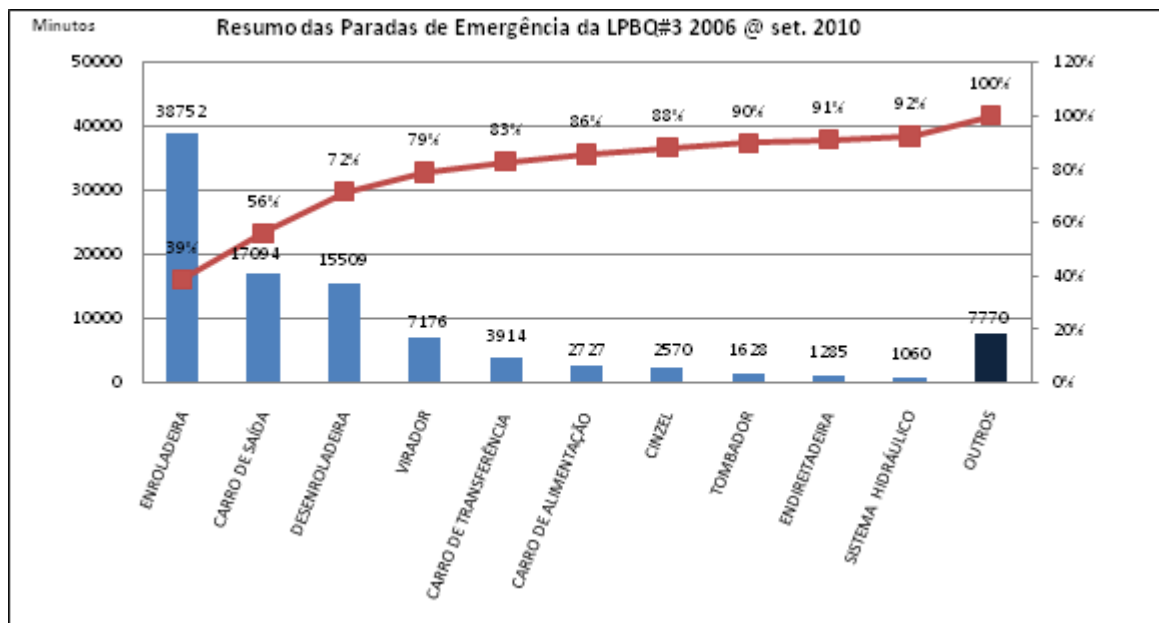


**Figura 5.** Esquerda: Extratificação das falhas da desenroladeira indicando falhas de projeto como principal causa fundamental das paradas com perda de produção. Direita: Caracterização percentual dos principais itens referentes à falha de projeto.

### 2.1.2 2ª Etapa: Fase contínua de produção entre 2006 a Setembro de 2010

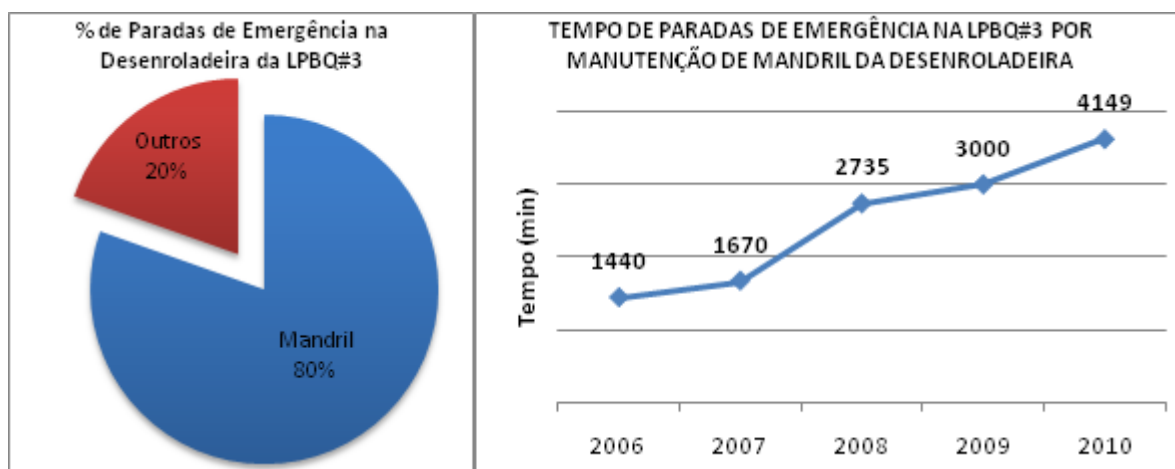
Ainda utilizando a ferramenta estatística, avaliando a fase “pós start up”, é possível observar que os somatórios dos tempos de paradas indicavam que o conjunto da desenroladeira figurava entre as três unidades funcionais mais críticas, quanto ao comprometimento da disponibilidade da linha. Sendo que, objetivando a ampliação analítica, foi possível identificar uma tendência crescente dos tempos de parada com perdas de produção oriundas de falhas de mandril.





**Figura 6.** Extratificação de paradas com perda de produção na LPBQ#3, durante o período de operação contínua da linha (2006 a set./2010), demonstrando uma redução percentual dos tempos de paradas atribuídos a “Unidade funcional Desenroladeira”, porém mantendo-a entre os três conjuntos mais críticos (perda 15,2 dias de produção, sendo equivalente a 20.925 toneladas).

Após o período inicial de levantamento, outras avaliações foram feitas dando prosseguimento ao processo investigativo das falhas, focando o conjunto da desenroladeira, em específico, os semi-mandris.



**Figura 7.** Esquerda: Percentual de paradas com perda de produção na desenroladeira. Direita: Extratificação dos tempos de parada no mandril com perdas de produção durante o período de janeiro de 2006 a setembro de 2010, demonstrando uma tendência crescente.

## 2.2 Diagrama de Causa e Efeito

Esta análise objetivou munir a fase de elaboração do novo projeto básico, com contramedidas consensadas e alinhadas com as expectativas operacionais (como qualidade e disponibilidade), aumentando as chances de assertividade das ações após a implantação das modificações propostas para o conjunto.

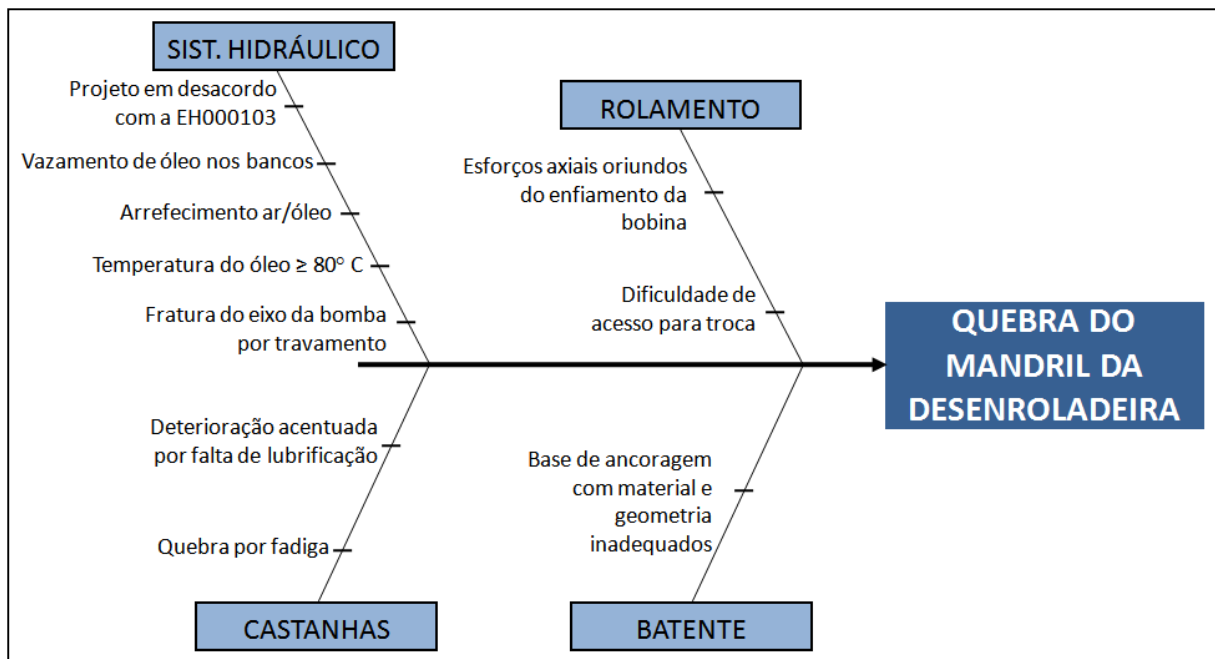


Figura 8. Diagrama de Causa e Efeito para quebra do mandril da desenroladeira.

Distorções de projeto avaliadas no diagrama de causa e efeito:

1. Rolamento: Permitia a aplicação de cargas nocivas elevadíssimas diretamente sobre os rolamentos, devido a imperfeições nos miolos das bobinas, principalmente ao rolamento traseiro (bloqueado), que apresentava constantes falhas com perdas de função;
2. Batente: Previa a fixação dos batentes de ancoragem das castanhas diretamente sobre o *liner* de bronze do mandril, que devido à concepção mecânica como elemento de máquina, não possibilitava a rigidez adequada ao travamento efetivo. Os mecanismos de desgaste agiam fortemente sobre os alojamentos dos parafusos, que em média não duravam mais que 90 dias;
3. Castanhas: Previa a construção das castanhas das telhas do mandril em peças separadas com material construtivo pouco resistente frente ao carregamento imposto durante a operação (processamento de bobinas com até 30.000 Kg), não prevendo dispositivos de lubrificação dedicados aos planos inclinados do mandril;
4. Não era capaz de controlar a pressão hidráulica do sistema, causando sobrecargas no sistema mecânico e no cilindro responsável pela expansão das telhas, acarretando o aquecimento excessivo do óleo, quebras por travamento e comprometimento dos sistemas de vedação.

### 2.3 Plano de Ação

De posse do material estatístico obtido através do histórico de falhas do conjunto, dos relatos operacionais e das informações obtidas junto à equipe de manutenção/staff na fase de projeto básico, delineou-se um plano de ação que originou as seguintes alterações de projeto:

**Tabela 1.** Plano de ação (5W) para quebra do mandril da desenroladeira

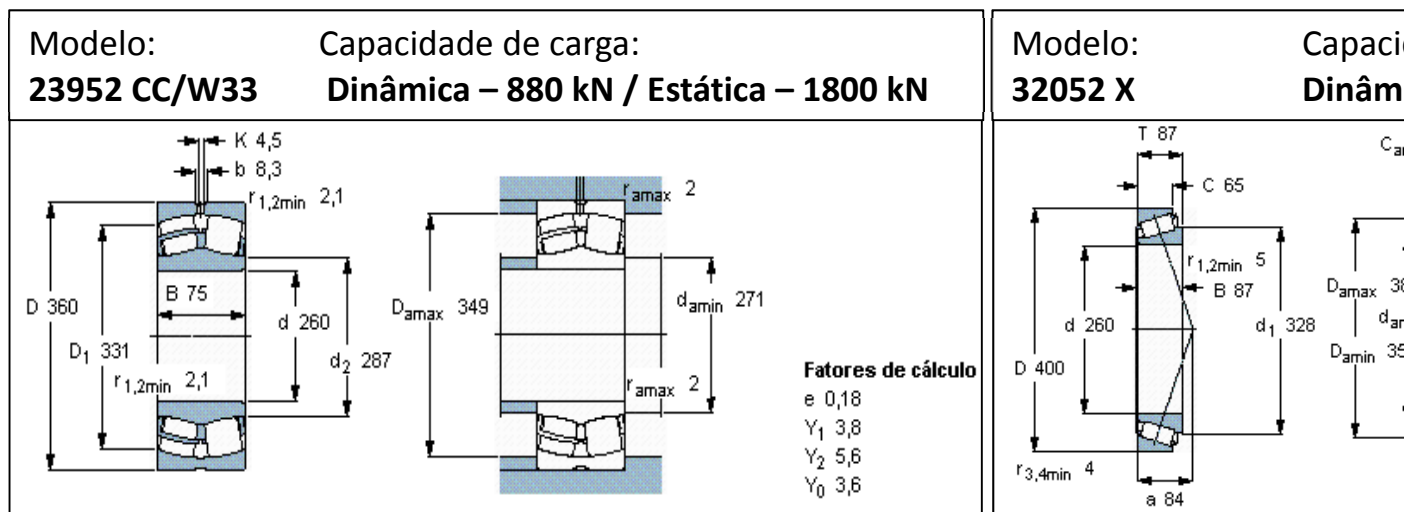
O QUE?	POR QUE?	QUEM?	COMO?	QUANDO?
Troca de rolamento auto compensador de rolos por rolamento de rolos cônicos	- Melhorar acomodação de esforços axiais impostos ao eixo.	GEM + CPA	- Especificação de novo rolamento.	Outubro de 2010
Alteração do sistema de expansão do mandril	- Adequar a especificação do material à condição de desgaste e geometria da peça.	GEM + CPA	- Confecção de batente em peça única com material adequado; - Alteração da geometria do eixo.	Outubro de 2010
Modificação no projeto das castanhas	- Eliminar quebra das castanhas por fadiga; - Garantir da lubrificação entre partes deslizantes.	GEM + CPA	- Construção do plano inclinado em peça única; - Instalação de pontos de lubrificação nos planos inclinados das castanhas.	Outubro de 2010
Alteração do sistema hidráulico de entrada	- Evitar falhas no sistema por sobrecarga; - Controlar aporte térmico do fluido; - Garantir acesso para manutenção.	GEM + CPA	- Unificação do sistema hidráulico; - Adequação do projeto à EH000103.	Início em Out/2010 com término em Abr/2011

### 3 RESULTADOS

Como demonstrado a seguir, todas as ações elencadas pelo grupo de trabalho no plano de ação foram implementadas. O roteiro para implantação das atividades foi fiel as especificações do novo projeto o que garantiu a eficácia das ações frente aos desvios na concepção original dos semi-mandris da desenroladeira.

#### 3.1 Troca do Rolamento

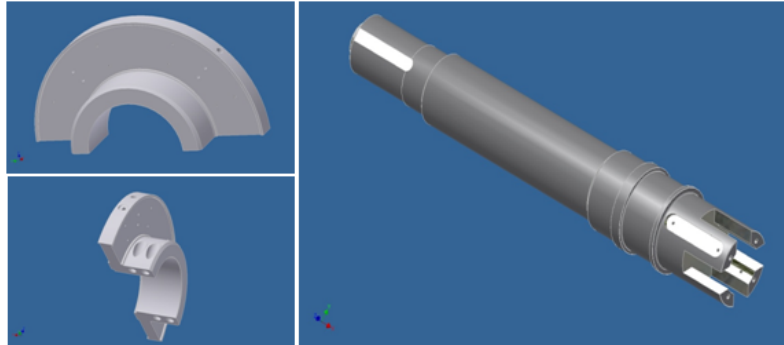
O projeto construtivo do rolamento traseiro foi alterado afim de instalar um elemento adequado as condições de solicitação da operação,<sup>(1)</sup> eliminando quebras por sobre cargas axiais oriundas do procedimento de enfiamento de bobinas no mandril.



**Figura 9.** Esquerda: rolamento auto compensador de rolos utilizado no projeto original do equipamento, não indicado para carregamentos axiais. Direita: Rolamento de rolos cônicos, implantado na alteração do projeto, resistente a esforços radiais e axiais.

### 3.2 Alterações do Sistema de Expansão do Mandril

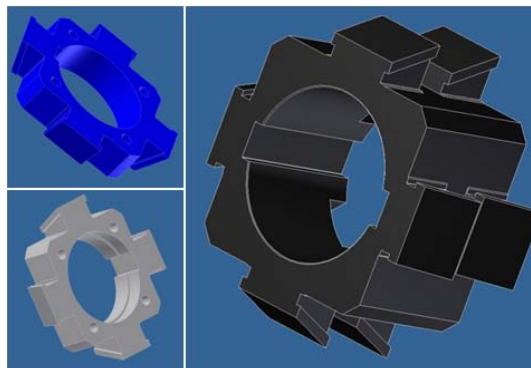
O sistema de ancoragem para o mecanismo de expansão do mandril foi alterado afim de garantir rigidez e confiabilidade durante a operação. Tanto o projeto do eixo quanto o projeto dos batentes foram alterados, garantindo assim o bloqueio dos esforços axiais que provocavam o deslocamento do conjunto.



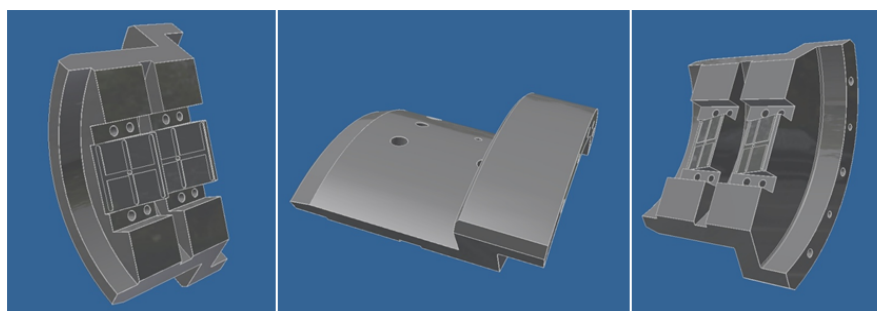
**Figura 10.** Esquerda: Batente de fixação bipartido, facilitando a montagem e manutenção. Direita: Eixo construído com “ombros laterais” afim de garantir o perfeito acoplamento com o batente resistindo aos carregamentos axiais do conjunto.

### 3.3 Eliminação de Quebra das Castanhas

O projeto dos planos inclinados foi alterado afim de garantir rigidez ao conjunto.<sup>(2)</sup> Substituindo inicialmente duas peças individuais por uma peça única (Figura 11), bem mais robusta, com duas chavetas guiando a montagem e aumentando assim a resistência aos mecanismos de cisalhamento impostos ao conjunto durante a expansão. Nos planos inclinados das castanhas (Figura 12) foram inseridos furos de lubrificação, a fim de melhorar o deslizamento entre as partes.



**Figura 11.** Esquerda: Projeto original prevendo planos inclinados construídos em duas peças. Direita: Novo projeto do plano inclinado, em peça única e com duas chavetas.

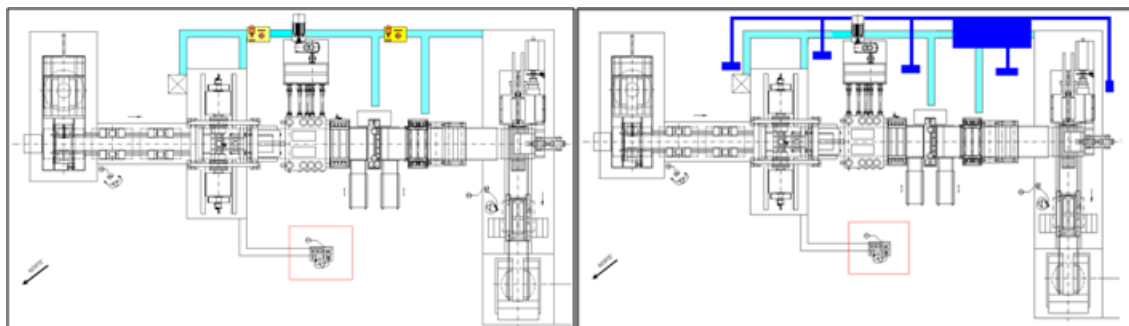


**Figura 12.** Inserção de furos de lubrificação diretamente nos planos inclinados das castanhas.



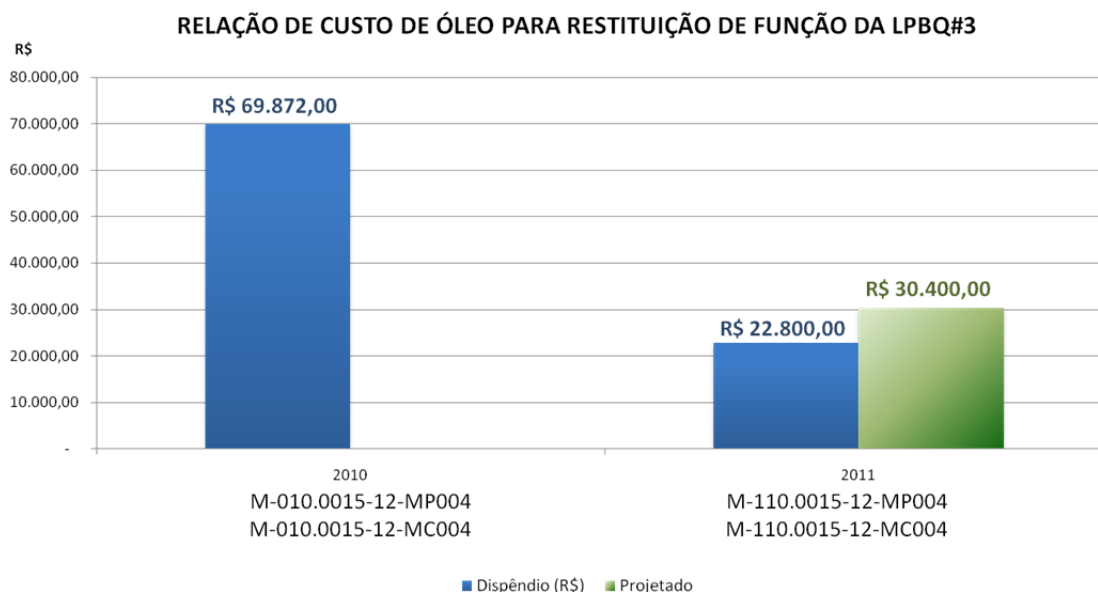
### 3.4 Alterações do Sistema Hidráulico de Entrada

Através da unificação do sistema hidráulico e da adequação do projeto à especificação CSN EH000103, pode-se evitar falhas ocasionadas por sobrecargas do sistema, controlar o aporte térmico do fluido e garantir acesso para inspeção e manutenção.<sup>(3)</sup>



**Figura 13.** Esquerda: Projeto original com sistema hidráulico dividido e unidades de controle dentro do equipamento. Direita: Novo projeto com sistema hidráulico unificado, com sistema de troca térmica mais eficiente e unidades de controle fora do equipamento.

Outro benefício gerado através da adequação dos sistemas hidráulicos foi a eliminação de vazamentos na seção de entrada da linha, resultando em uma redução no consumo global de óleo.



**Figura 7.** Gráfico demonstrando a relação de custos entre os anos de 2010 e 2011, com a aquisição de óleo M-300X (cód. 8081451) para reposição de função na LPBQ#3.

### 3.5 Padronização

Os itens desenvolvidos no projeto foram devidamente inseridos no sistema de documentação técnica da CSN. Todas as alterações foram marcadas, verificadas e revisadas nos respectivos desenhos, a fim de garantir a sistematização da informação. Evidências:

- DM052545 rev.3;
- DM052620 folha 15 rev.5;
- DM052546 rev.7;

- DM052617 rev.2.

Procedimentos de manutenção foram elaborados e aplicados em todas as letras do turno de revezamento.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Retorno Obtido pela Redução dos Tempos de Paradas por Manutenção

Com a redução dos tempos de parada para restituição do conjunto, foi possível obter um ganho de disponibilidade de linha de 51,28 horas de produção na LPBQ#3 por ano, potencializando um ganho de 2.759,63 toneladas:

- tempo de paradas no ano de 2010: 4.149 min.
- projeção do tempo de paradas para o ano de 2011: 1.072 min.

$$\text{Disponibilidade} = 4.149 - 1.072 = 3.077 \text{ minutos} = \left( \frac{3.077}{60} \right) = \mathbf{51,28 \text{ horas}}$$

Esta potencialização de disponibilidade na LPBQ#3, gerou uma disponibilidade de 5,642 horas por ano ao processamento de placas longas no LTQ#2, gerando assim um ganho por volume laminado no equipamento.

- Disponibilidade efetiva anual gerada no LTQ#2: 5,642 horas;
- Ganho de produtividade anual pelo processamento de placas longas sobre placas curtas no LTQ#2: 1.084 ton.;
- Potencializando um retorno de R\$ 140.040,00 nos custos no LTQ#2;
- Potencializando um retorno de R\$ 514.048,00 pelo aumento da produtividade do LTQ#2.

$$\text{Retorno financeiro} = R\$140.040,00 + R\$514.048,00 = \mathbf{R\$654.088,00/ano}$$

### 4.2 Retorno Obtido pela Redução de Gastos com Reparos Externos

Com a eliminação das causas fundamentais das falhas, promoveu-se a eliminação da demanda de reparos nos mandris outrora verificada na LPBQ#3, elevando o tempo médio estimado entre reparos para 24 meses.

- Média de gasto dos últimos 3 anos: R\$ 660.683,00/ano (tendo uma média de 2 reparos por ano);
- Projeção de gasto com reparos externos equivalente a R\$ 165.170,00/ano (previsão estimada de 1 reparo a cada 2 anos a partir do ano de 2011).

$$\text{Retorno financeiro} = R\$660.683,00 - R\$165.170,00 = \mathbf{R\$495.512,00/ano}$$

### 4.3 Retorno Obtido pela Redução de Gastos com M.O. de Manutenção

Com a redução do número de intervenções nos mandris da desenroladeira, foi possível obter uma redução da utilização de mão de obra para atividades corretivas não programadas no equipamento, racionalizando assim seu respectivo consumo.

- Dispêndio com M.O. de manutenção no ano de 2010: R\$ 55.223,00;
- Projeção do dispêndio com M.O. de manutenção para 2011: R\$ 35.615,00

$$\text{Retorno financeiro} = R\$55.223,00 - R\$35.615,00 = \mathbf{R\$19.608,00/ano}$$

### 4.4 Concatenando o Retorno Financeiro Total

Os resultados obtidos nos itens 4.1, 4.2 e 4.3 foram somados gerando um retorno financeiro de R\$1.208.680,00/ano. É importante salientar que os resultados obtidos no item 4.1 poderão ser ampliados com a evolução da demanda de

encomendas do LTQ#2, pois devido às condições do mercado o volume de produção esta limitado em um patamar inferior ao potencial da linha (atualmente em aproximadamente 93,7%).

**Tabela 2.** Retorno financeiro pelas ações executadas no mandril da desenroladeira na LPBQ#3

Ação	Redução por ano
Retorno anual por aumento de produtividade + redução de custos no LTQ#2	R\$ 654.088,00
Redução na demanda de reparos anuais de mandris	R\$ 495.512,00
Redução no consumo de óleo da LPBQ#3 em relação ao último ano	R\$ 39.472,00
Redução nos custos de M.O. de manutenção de mandris	R\$ 19.608,00
	<b>R\$ 1.208.680,00</b>

## 5 CONCLUSÃO

Graças ao envolvimento multidisciplinar do grupo de trabalho, com uma avaliação precisa das causas fundamentais, as ações tomadas neste trabalho foram focadas na eliminação das não conformidades, gerando:

- redução de 35,5% no custo anuais com m.o. de manutenção de mandril em relação ao ano 2010;
- redução de 74,2% nas paradas por falha de mandril, gerando 51,28 horas de disponibilidade de máquina (sendo que os itens alterados neste trabalho não apresentaram falhas);
- aumento do intervalo médio entre reparos de 6 para 24 meses, promovendo assim uma redução 75% nos custos médios de reparo de mandril;
- redução de 56,5% nos custos com reposição de óleo entre os anos de 2010 e 2011 através do bloqueio das fontes de vazamento dos sistemas hidráulicos;
- garantia da confiabilidade operacional;
- segurança (pela redução da exposição dos executantes a atividades corretivas não programadas); e
- meio ambiente (pelo bloqueio das fontes de vazamento dos sistemas hidráulicos).

Sendo que nos processos atrelados à LPBQ#3 obtivemos ainda:

- maior capacidade de desenvolvimento do “mix” de materiais processados no ltq#2, reduzindo a incidência de placas curtas, gerando um retorno médio anual de R\$654.088,00 (considerando os dados de produção apurados em 2011);
- potencialização de redução de custos com energia no processo de transformação nos fornos de placa; e
- Atendimento do programa de bobina grossa (31,4% das encomendas do LTQ#2 no 3º trimestre de 2011).

**Tabela 3.** Atendimento do programa de BG

Produto	Jul/11	Ago/11	Set/11	MÉDIA 3º tri.
<b>Total LTQ#2 (BQ + BG) [ton.]</b>	146.511	146.140	142.237	144.963
<b>BG [ton.]</b>	38.458	49.273	48.673	45.468
<b>% de BG sobre total</b>	26,25%	33,72%	34,22%	<b>31,40%</b>

## Agradecimentos



Agradecemos aos senhores Giovane Alex, Cleciano Berlando, Jerri de Araújo, Jonathan de Souza Calvelli, Naim Antônio e em especial ao senhor Nelmo Figoreli pelo apoio e colaboração à realização deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 SKF do Brasil. Disponível em: <[http://www.skf.com/portal/skf\\_br/home](http://www.skf.com/portal/skf_br/home)> Acesso em out. de 2011.
- 2 Robert L. Norton, Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada, 2ª Edição. Porto Alegre: Editora Bookman, 2004.
- 3 Fialho, Arivelto Bustamente, Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos, 6ª Edição. São Paulo: Editora Érica, 2008.