

# OTIMIZAÇÃO DE LARGURAS DE PLACAS NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO PARA REDUÇÃO DE PERDAS POR MUDANÇA DE LARGURA \*

Vitor Bogaci Ney<sup>1</sup>  
Gladistone de Souza Guerra<sup>2</sup>  
Aislan Francisco Leite da Costa<sup>3</sup>  
Vitor Leonardo Ferreira Areas<sup>4</sup>  
Bruno Camara Vieira<sup>5</sup>  
Marcos Hiroshi Nachi<sup>6</sup>  
Marcelo Macedo Fialho<sup>7</sup>

## Resumo

A mudança de largura de placas no processo de lingotamento contínuo de aços, que visa atender as faixas de largura de clientes, tem acarretado em perdas de material e aumento de *lead time* devido ao processo de corte de placas. Foi elaborado um modelo que busca reduzir estas perdas através de um agrupamento dimensional otimizado de larguras de placas que permite atender uma demanda diversificada de larguras solicitadas pelos clientes.

**Palavras-chave:** Mudança de largura; Otimização Dimensional; Lingotamento Contínuo, Perda Metálica.

## SLAB WIDTH FORECAST OPTIMIZATION IN CONTINUOUS CASTINGS PRODUCTION IN ORDER TO REDUCE LOSSES BY WIDTH CHANGE

## Abstract

The steel slab is produced in continuous casting process with width changing due to customer width ranges requirement, has resulted in material losses and increase lead time due to the defect cutting process. A model has been developed that seeks to reduce these losses through an optimized dimensional grouping of slab widths that allows to meet a diversified demand requested by customers.

**Keywords:** Width Change; Dimensional Optimization; Continuous Casting; Metallic Losses.

<sup>1</sup> Eng. Metalurgista, Especialista de Controle Integrado de Qualidade de Produtos da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>2</sup> MSc. Eng Metalurgista, Gerente de Metalurgia da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>3</sup> MSc. Eng Metalurgista, Gerente da Unidade Técnica de Laminação a Quente da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>4</sup> Eng. Metalurgista, Especialista de Unidade Técnica de Laminação a Quente da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>5</sup> MSc Eng. de Metalurgia e Materiais, Especialista de Unidade Técnica de Laminação a Quente da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>6</sup> Eng. de Automação e Controle com pós-graduação em Engenharia de Produção da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>7</sup> Eng. Metalurgista, Especialista de Unidade Técnica da Aciaria da ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil...

## 1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Tubarão é uma siderúrgica integrada (figura 1) com capacidade instalada de produção de laminados planos e de placa com respectivamente de 4.0 milhões de toneladas e 3.5 milhões de toneladas de placas por ano.

O mercado de seus produtos é diversificado, atendendo a indústria automotiva, naval, petrolífera, aços estruturais e etc. Além do atendimento a mercados distintos, é comum que os clientes demandem larguras bem variadas para seus produtos (figura 2).

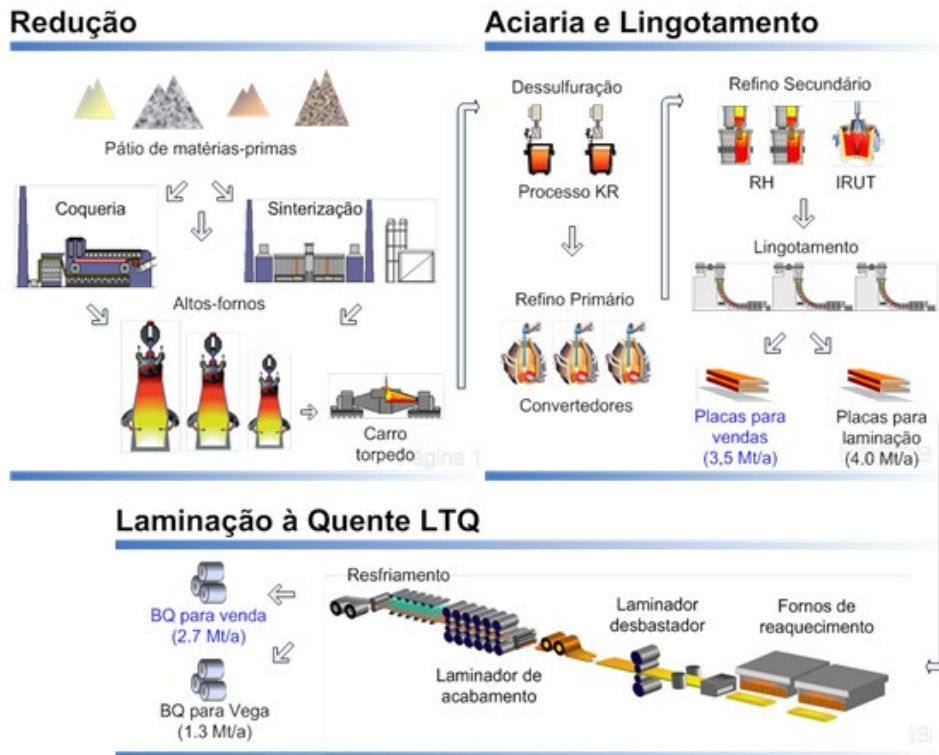


Figura 1. Fluxograma de produção da ArcelorMittal Tubarão.

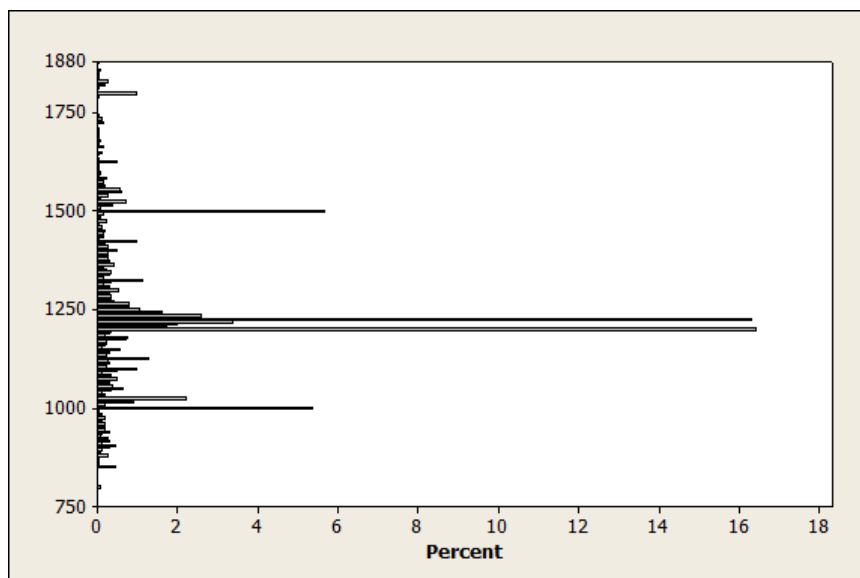


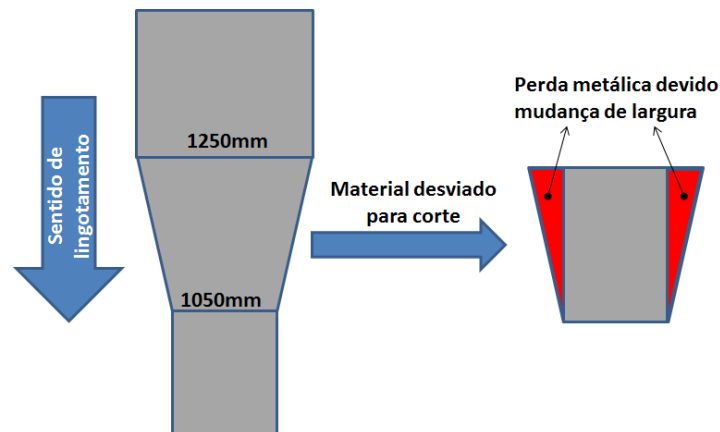
Figura 2. MIX diversificado de larguras de pedidos de laminados.

Para atender um diversificado portfólio de larguras de pedidos de laminados a quente a ArcelorMittal Tubarão utilizada duas estratégias em conjunto para a produção.

A primeira é trabalhar com o laminador vertical (desbaste) durante o processo de laminação a quente e a outra é a realização de mudança de largura durante o processo do lingotamento contínuo de placas.

O ajuste dimensional da largura do produto pelo laminador vertical deve respeitar os limites de capacidade definidos pelo fornecedor do equipamento e conseqüentemente não permite alcançar sozinho todas as dimensões disponíveis para comercialização a partir de poucas larguras de placa. Em função disso a maior parte dos grandes ajustes dimensionais necessários é realizada durante o processo de lingotamento contínuo.

Placas produzidas nas transições de largura (figura 3) resultam em produtos que devem ser condicionados para adequação aos limites do laminador. O enquadramento dimensional realizado pelo condicionamento (figura 4) resulta em perda metálica pelo motivo “mudança de largura”, e esse motivo se destaca como uma das principais perdas metálicas.



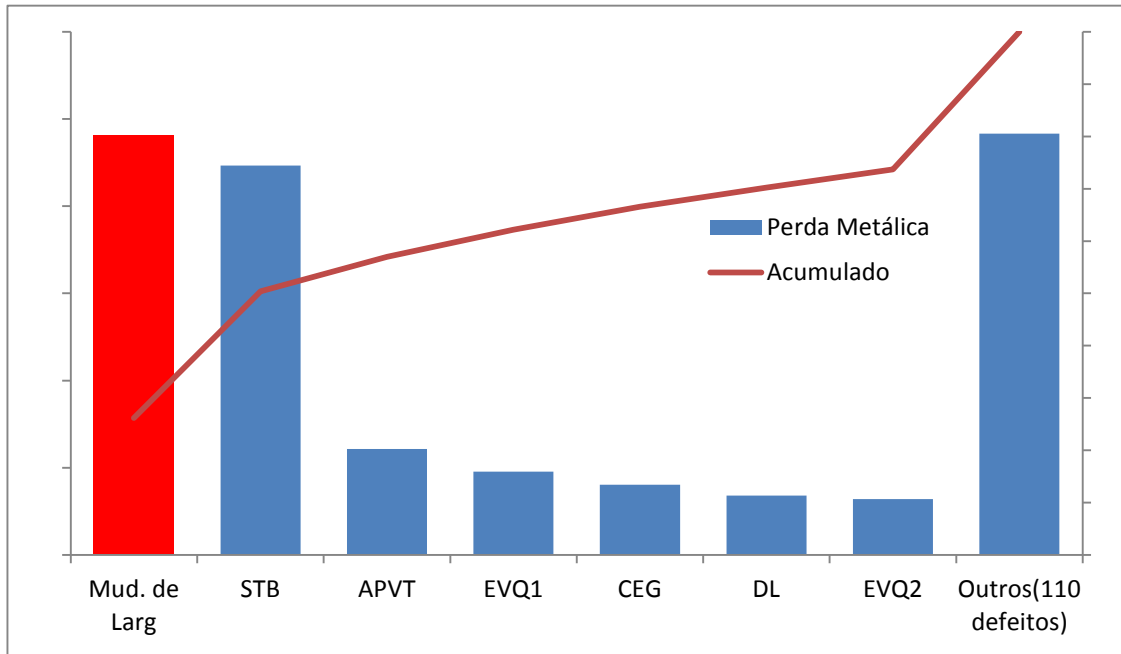
**Figura 3.** Figura esquemática da origem e do descarte do Defeito “Mudança de largura” devido transição de larguras



**Figura 4.** Eliminação do Defeito “Mudança de largura”

## 2 DESENVOLVIMENTO

Entre as perdas, a “mudança de largura” (figura 5) é o principal motivo dos últimos três anos. Isso indica que criação de um projeto para redução desse defeito poderia trazer uma oportunidade com impacto relevante nas perdas metálicas.



**Figura 5.** Defeito “Mudança de largura” como principal motivo de perda nos últimos três anos

Tendo em vista a relevância da perda metálica por mudança de largura, uma nova estratégia de agrupamento dimensional foi idealizada.

É necessário conhecer a premissa de que cada largura de pedido de produto laminado a quente enquadra-se em uma faixa que define a largura de produção da placa durante seu lingotamento. O objetivo desse trabalho foi agrupar a maior quantidade de larguras de produtos laminados na menor quantidade de larguras de placas utilizadas no lingotamento, tornando mais favorável o planejamento da sequência de lingotamento e com conseqüente redução da perda metálica pelo motivo “mudança de largura”.

Para definir as larguras de produção da placa e suas respectivas faixas otimizadas, partiu-se da ideia que é necessário maximizar a tonelagem de produtos laminados em faixas otimizadas que definem a largura de produção da placa respeitando os limites de laminação.

### 2.1 Métodos - Desenvolvimento do Algoritmo

O algoritmo recebe os dados de largura histórica de pedidos de laminados de um período representativo, parâmetros de redução máxima de largura do laminador por material, incertezas de medição do lingotamento e executa uma lógica conforme (figura 6), e ao final de todas as iterações é obtida uma tabela com as larguras instruídas das placas a serem produzidas no lingotamento e suas respectivas faixas de largura de pedidos de laminados.

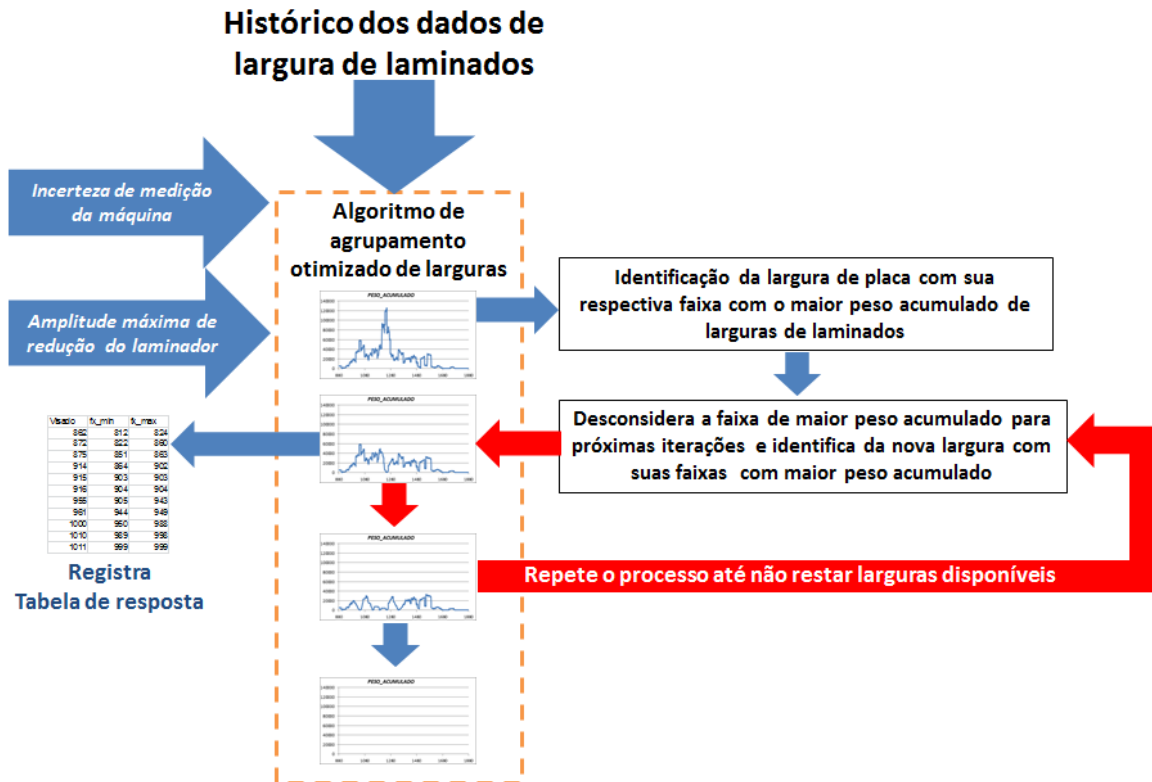


Figura 6. Ideia do fluxo iterativo do algoritmo otimizador

Para obtenção das faixas de larguras de placa otimizadas, foi desenvolvido um script na linguagem R (figura 7) que faz a leitura dos dados históricos de larguras de pedidos de laminados a quente e realiza seu processamento em poucos minutos. As larguras encontradas foram 100% obtidas pelo script do otimizador.

```

1 # TODO: Add comment
2 #
3 # Author: m1176
4 #####
5 library(dplyr)
6 #ajuste_lg_adjacentes<-function(x,incerteza,lg_fx,fx2,red_min_1,red_min_2,TAPER=40, excluir_lg=c()){}
77 arquivo <- c("lg_10_11", "lg_20_23", "lg_demais", "lg_geral", "UBC_BC")
78
79 #chave final desse for está no final do script
80 for (ifile in 1:NROW(arquivo)){
81
82   dir <- "d/"
83   extensao <- ".txt"
84   BD = paste0(dir,arquivo[ifile],extensao)
85   tabela_lg <- read.table(file = BD, header = TRUE, sep="\t",dec = ".", stringsAsFactors = FALSE)
86   tabela_lg <- data.frame(lapply(tabela_lg, function(x) as.numeric(gsub(" ", "", x))))
87   lg_ped_min <- as.numeric(200:seq(1:(1881-750)))
88   peso_inicial <- as.numeric(rep_len(1, 1881-750))
89   dataframe_inicial <- data.frame(lg_ped_min,peso_inicial)
90   tabela_lg<-left_join(dataframe_inicial, tabela_lg, by = c("lg_ped_min" = "lg_infln_bq"))
91   tabela_lg[,2]<-tabela_lg[,2]+ifelse(is.na(tabela_lg[,3]), 0, tabela_lg[,3])
92   tabela_lg[,3]<-NULL
93
94   #Definição da amplitude máxima para agrupamento(não desconsiderar os 12mm)
95   larg_prior <-c(1050,1250,1540,1840)
96   if(arquivo[ifile]=="lg_20_23" | arquivo[ifile]=="UBC_BC"){
97     fx1 <-75 #|75-12=63
98     fx2 <-62 #|62-12=50
99   }else{
100     if(arquivo[ifile]=="lg_10_11"){
101       fx1 <-85 #|85-12=73
102       fx2 <-72 #|72-12=60
103     }else{
104       fx1 <-62 #|62-12=50
105     }
106   }
107 }
    
```

Figura 7. Tela do script em R para obtenção das larguras otimizadas

Várias estratégias de otimização podem ser obtidas, contudo é fundamental a simulação para a identificação de qual é a mais interessante de ser adotada.



## 2.2 Métodos - Simulações de diferentes cenários

Com as informações das faixas de atendimento de largura de pedidos de laminados planos e as larguras de placas obtidas com o algoritmo de otimização, é possível realizar simulações baseadas nos dados históricos de produção. Para esse fim foi utilizado uma ferramenta de Business Intelligence que oferece ao usuário a capacidade de realizar com relativa facilidade operações de extração, transformação e cargas de dados.

Isso permite criar uma aplicação que possa simular e comparar (figura 8) diversas estratégias de agrupamento dimensional antes de aplicar em produção qualquer alteração.

UBC BC ZZZ 12mm		UBC BC ZZZ 14mm		UBC BC ZZZ 16mm	
AVG(Tipo aço)	1 282.3mm	AVG(Tipo aço)	1 281.8mm	AVG(Tipo aço)	1 281.9mm
AVG(Geral)	1 276.3mm	AVG(Geral)	1 276.3mm	AVG(Geral)	1 276.3mm
CM(Tipo aço)	117 890m	CM(Tipo aço)	117 075m	CM(Tipo aço)	116 677m
CM(Geral)	114 819m	CM(Geral)	114 819m	CM(Geral)	114 819m
%(Tipo aço FF)	7.4%	%(Tipo aço FF)	7.4%	%(Tipo aço FF)	7.5%
%(Geral FF)	7.3%	%(Geral FF)	7.3%	%(Geral FF)	7.3%
Perda Prod(Tipo aço)	19 578.1t	Perda Prod(Tipo aço)	19 679.1t	Perda Prod(Tipo aço)	19 594.5t
Perda Prod(Geral)	19 609.5t	Perda Prod(Geral)	19 609.5t	Perda Prod(Geral)	19 609.5t
Qtde LG Distinto(Tipo aço)	69	Qtde LG Distinto(Tipo aço)	73	Qtde LG Distinto(Tipo aço)	76
Qtde LG Distinto(Geral)	43	Qtde LG Distinto(Geral)	43	Qtde LG Distinto(Geral)	43
Qtde ML(Tipo aço)	16247	Qtde ML(Tipo aço)	16230	Qtde ML(Tipo aço)	16450
Qtde ML(Geral)	16103	Qtde ML(Geral)	16103	Qtde ML(Geral)	16103
Delta ABS ML(Tipo aço)	102mm	Delta ABS ML(Tipo aço)	102mm	Delta ABS ML(Tipo aço)	99mm
Delta ABS ML(Geral)	100mm	Delta ABS ML(Geral)	100mm	Delta ABS ML(Geral)	100mm
%ML <=20mm(Tipo aço)	6.3%	%ML <=20mm(Tipo aço)	5.7%	%ML <=20mm(Tipo aço)	4.5%
%ML <=20mm(Geral)	7.8%	%ML <=20mm(Geral)	7.8%	%ML <=20mm(Geral)	7.8%
Perda ML(Tipo Aço)	17 927.4t	Perda ML(Tipo Aço)	17 928.9t	Perda ML(Tipo Aço)	17 794.7t
Perda ML(Geral)	18 007.6t	Perda ML(Geral)	18 007.6t	Perda ML(Geral)	18 007.6t
Redução RM(Tipo Aço)	39mm	Redução RM(Tipo Aço)	39mm	Redução RM(Tipo Aço)	39mm
Redução RM(Geral)	33mm	Redução RM(Geral)	33mm	Redução RM(Geral)	33mm
Prod(Tipo aço)	5 370 381.2t	Prod(Tipo aço)	5 369 024.6t	Prod(Tipo aço)	5 367 759.4t
Prod(Geral)	5 357 163.0t	Prod(Geral)	5 357 163.0t	Prod(Geral)	5 357 163.0t
%Sem Ajuste de FC (Tipo Aço)	88.6%	%Sem Ajuste de FC (Tipo Aço)	90.0%	%Sem Ajuste de FC (Tipo Aço)	86.2%
%Sem Ajuste de FC (Geral)	85.7%	%Sem Ajuste de FC (Geral)	85.7%	%Sem Ajuste de FC (Geral)	85.7%

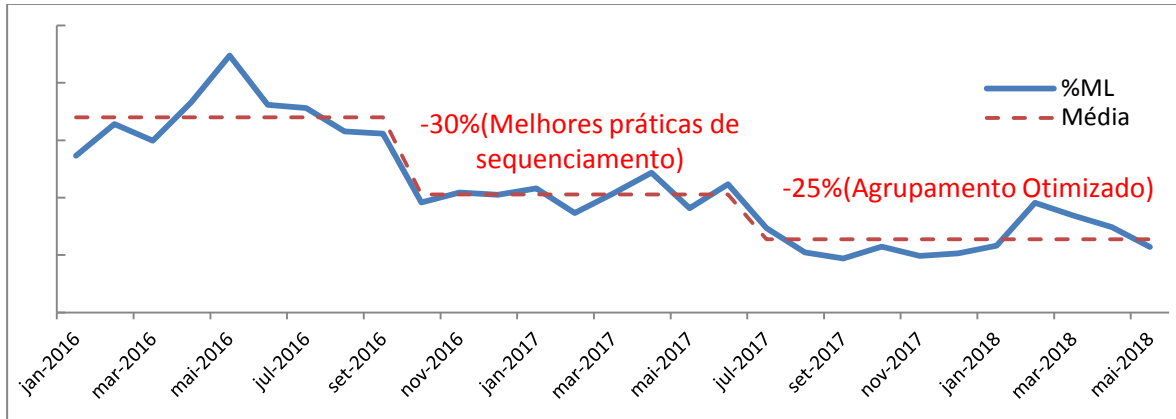
UBC BC ZZZ 18mm		UBC BC ZZZ 20mm		UBC BC ZZZ 22mm	
AVG(Tipo aço)	1 283.2mm	AVG(Tipo aço)	1 283.4mm	AVG(Tipo aço)	1 282.5mm
AVG(Geral)	1 276.3mm	AVG(Geral)	1 276.3mm	AVG(Geral)	1 276.3mm
CM(Tipo aço)	117 897m	CM(Tipo aço)	118 406m	CM(Tipo aço)	119 249m
CM(Geral)	114 819m	CM(Geral)	114 819m	CM(Geral)	114 819m
%(Tipo aço FF)	7.7%	%(Tipo aço FF)	7.7%	%(Tipo aço FF)	7.9%
%(Geral FF)	7.3%	%(Geral FF)	7.3%	%(Geral FF)	7.3%
Perda Prod(Tipo aço)	20 055.5t	Perda Prod(Tipo aço)	20 211.4t	Perda Prod(Tipo aço)	20 245.8t
Perda Prod(Geral)	19 609.5t	Perda Prod(Geral)	19 609.5t	Perda Prod(Geral)	19 609.5t
Qtde LG Distinto(Tipo aço)	82	Qtde LG Distinto(Tipo aço)	84	Qtde LG Distinto(Tipo aço)	90
Qtde LG Distinto(Geral)	43	Qtde LG Distinto(Geral)	43	Qtde LG Distinto(Geral)	43
Qtde ML(Tipo aço)	16854	Qtde ML(Tipo aço)	16908	Qtde ML(Tipo aço)	17274
Qtde ML(Geral)	16103	Qtde ML(Geral)	16103	Qtde ML(Geral)	16103
Delta ABS ML(Tipo aço)	98mm	Delta ABS ML(Tipo aço)	98mm	Delta ABS ML(Tipo aço)	96mm
Delta ABS ML(Geral)	100mm	Delta ABS ML(Geral)	100mm	Delta ABS ML(Geral)	100mm
%ML <=20mm(Tipo aço)	5.2%	%ML <=20mm(Tipo aço)	4.0%	%ML <=20mm(Tipo aço)	5.4%
%ML <=20mm(Geral)	7.8%	%ML <=20mm(Geral)	7.8%	%ML <=20mm(Geral)	7.8%
Perda ML(Tipo Aço)	17 877.7t	Perda ML(Tipo Aço)	17 999.4t	Perda ML(Tipo Aço)	17 969.1t
Perda ML(Geral)	18 007.6t	Perda ML(Geral)	18 007.6t	Perda ML(Geral)	18 007.6t
Redução RM(Tipo Aço)	40mm	Redução RM(Tipo Aço)	40mm	Redução RM(Tipo Aço)	39mm
Redução RM(Geral)	33mm	Redução RM(Geral)	33mm	Redução RM(Geral)	33mm
Prod(Tipo aço)	5 370 444.4t	Prod(Tipo aço)	5 371 974.5t	Prod(Tipo aço)	5 364 026.9t
Prod(Geral)	5 357 163.0t	Prod(Geral)	5 357 163.0t	Prod(Geral)	5 357 163.0t
%Sem Ajuste de FC (Tipo Aço)	94.4%	%Sem Ajuste de FC (Tipo Aço)	99.2%	%Sem Ajuste de FC (Tipo Aço)	99.2%
%Sem Ajuste de FC (Geral)	85.7%	%Sem Ajuste de FC (Geral)	85.7%	%Sem Ajuste de FC (Geral)	85.7%

Figura 8 Comparação de respostas simuladas

Entre as variáveis mais relevantes que podem ser comparadas após a obtenção do resultado da simulação são: largura média vigente e a simulada, redução percentual entre placas consecutivas com larguras diferentes além da menor diferença entre a largura da placa instruída e maior largura de pedido atendida por essa placa.

## 2.3 Resultados

A partir do mês de julho de 2017 foi implantando o agrupamento otimizado em todos os materiais e larguras de placa e é possível perceber uma redução de 25% (figura 9) em relação ao período anterior a sua utilização em produção.

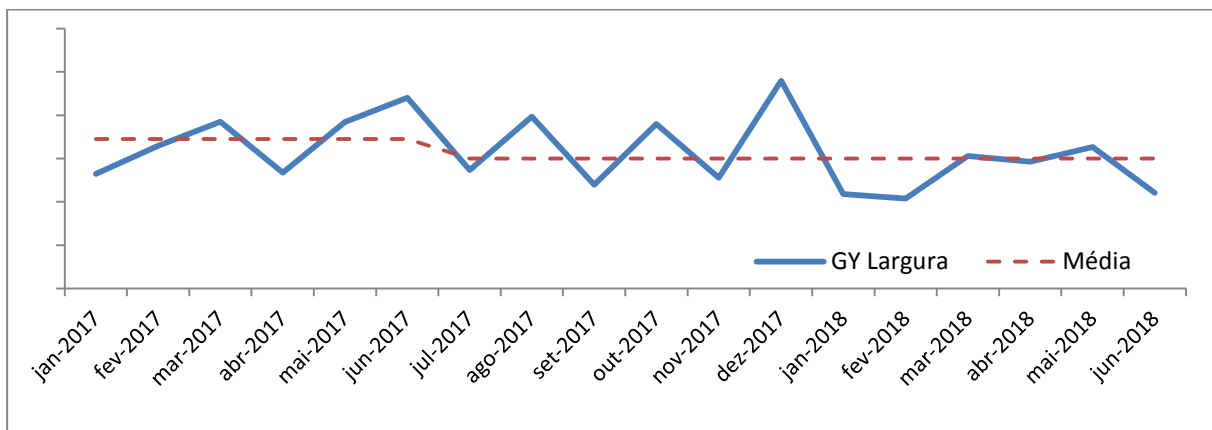


**Figura 9.** Variação da perda% por mudança de largura em material LTQ

Além da redução da perda metálica pelo motivo “mudança de largura”, a diminuição da geração desse defeito possui efeitos secundários que contribuem para:

- Menor Lead time das placas.
- Reduzir perdas de produtividade no lingotamento contínuo.
- Redução de riscos operacionais decorrentes da realização de mudança de largura.
- Demandar menos mão de obra para a realização dos cortes.
- Redução do consumo de gás utilizado no corte.
- Menor custo logístico de movimentação das placas.
- Menor chance de geração de defeitos provenientes do corte.

Além dos benefícios citados acima, é importante ressaltar que não foi observado impacto negativo no acerto de dimensional da largura (figura 10) nas placas produzidas com as novas dimensões no laminador de tiras a quente.



**Figura 10.** Perdas por não acerto de largura no Laminador de Tiras a Quente.

### 3 CONCLUSÃO

Expressiva redução de 25% da perda metálica por mudança de largura, com benefícios secundários que atingem a diversas áreas da companhia.

Os usos de ferramentas de Advanced Analytics e de Business Intelligence associados ao conhecimento técnico criam uma sinergia no ambiente industrial que dão suporte para respostas cada vez mais rápidas e efetivas, além de minimizar os riscos envolvidos de mudanças de práticas até então realizadas. Isso acontece principalmente devido a possibilidade de simulações/modelamento de cenários antes de qualquer alteração real em processos.

Futuros trabalhos devem ser desenvolvidos para aplicação de estratégias de faixas de reduções diferenciadas por tipo de material.

### REFERÊNCIAS

- 1 Carvalho, José L. R. Lingotamento Contínuo de placas de aço. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais; 1988.
- 2 Rizzo, Ernandes M. da Silveira. Introdução aos processos de lingotamento dos aços. São Paulo:, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais; 2006.
- 3 Perim, Carlos Alberto. Curso de Lingotamento Contínuo de Placas. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2010.
- 4 Crawley, Michael J. The R Book: Wiley; 2012.
- 5 Redmond, Stephen. Qlikview for Developers Cookbook: Packt Publishing; 2013