

## REMODELAGEM DO CONTROLE DO FORNO DE REAQUECIMENTO<sup>1</sup>

*Francismar Ribeiro Gomes<sup>2</sup>*  
*Gabriela Martins Lazarotto<sup>3</sup>*  
*Raphael José Simões Antunes<sup>4</sup>*

### Resumo

No processo de laminação à quente de aços longos, um dos principais tipos de energia empregada é a energia térmica, sendo um dos principais KPI's do processo produtivo. Historicamente o forno de reaquecimento de tarugos do laminador contínuo de perfis da Votorantim Siderurgia unidade de Barra Mansa demonstra um elevado consumo e um nível de sigma de 1,31. Os valores de medição adotados foram entre Outubro de 2010 a Agosto de 2011. Levando em consideração o planejamento estratégico da empresa, levantamos como oportunidade de ganho o aumento da eficiência térmica na operação do forno de reaquecimento de tarugos para laminação de barras e perfis. O presente trabalho tem como objetivo alterar o modo de operação das malhas de controle do forno. De modo a promover maior estabilidade das variáveis do processo, permitindo maior sintonia na relação ar/gás e minimizando a troca de calor com o meio externo, reduzindo em 10% o consumo específico de gás do forno de reaquecimento de tarugos até Dezembro de 2011.

**Palavras-chave:** Forno; Gás; Redução; Consumo.

### REHATING FURNACE CONTROL REMODELING

### Abstract

In the section mill process of long steel, one of the main types of energy used is thermal energy, which is one of the main KPI's of the production process. Historically the billet reheating furnace of continuous section mill of Votorantim Siderurgia at Barra Mansa demonstrates a high consumption and a sigma level of 1.31. The measured values were adopted from the October 2010 until August 2011.

Taking into consideration the company's strategic planning, raised as an opportunity to gain increased thermal efficiency in operating the billet reheating furnace for rolling bars and section. This work aims to change the operating mode of the control at the reheating furnace. In order to promote stability of the process variables, permitting better match at the gas / air ratio and minimizing the heat exchange with the external environment, reducing on 10% the specific consumption of gas at billet reheating furnace until December 2011.

**Key words:** Furnace; Gas; Reduction; Consumption.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Técnico em mecânica. Técnico Especializado de Processo. Votorantim Siderurgia Barra Mansa. Barra Mansa, RJ, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheira química. Engenheira de Processo. Votorantim Siderurgia Barra Mansa. Barra Mansa, RJ, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro electricista. Coordenador de Processos. Votorantim Siderurgia Barra Mansa. Barra Mansa, RJ, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Levando em consideração o planejamento estratégico da empresa, levantamos como oportunidade de ganho o aumento da eficiência térmica na operação do forno de reaquecimento de tarugos para laminação de barras e perfis.

O histórico do consumo de gás do forno de reaquecimento de tarugos do laminador contínuo de perfis da Votorantim Siderurgia unidade de Barra Mansa demonstra um consumo médio específico de GN de 44,30Nm<sup>3</sup>/t e um nível de sigma de 1.31.

O objetivo do projeto era reduzir em 10% o consumo específico mensal de gás no forno até dez/2011.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Na realização do projeto foi utilizada a metodologia Seis Sigma, visando alcançar resultado através do estudo da variabilidade do processo fundamentada por fatos e dados. A escolha da metodologia foi feita com base na complexidade do problema assim como o não conhecimento da causa específica, aliado a estratégia da empresa.

A escolha da metodologia assim como as ferramentas foi de acordo com as necessidades e características de cada etapa do DMAIC, como segue:

- definir: dados estatísticos, box plot, carta de controle, análise de custo;
- medir: mapa de processo, diagrama de Ishikawa, teste de normalidade, matriz causa e efeito, matriz esforço x impacto, capacidade;
- analisar: estatística básica, análise gráfica dos dados, FMEA, análise de regressão;
- melhorar: plano de ação, *brainstorming*;
- controlar: capacidade, carta de controle, Poka Yoke.

**Tabela 1- Brainstorming** das variáveis que podem afetar o KPI

BRAINSTORMING	
Número	Variável
X <sub>1</sub>	Especificação do aço
X <sub>2</sub>	Forma do tarugo
X <sub>3</sub>	Pressão do forno quando em inatividade
X <sub>4</sub>	Temperatura do forno quando inativo
X <sub>5</sub>	Tempo de enformamento
X <sub>6</sub>	Pressão de operação do forno
X <sub>7</sub>	Proporção ar x gás no interior do forno (estequiometria)
X <sub>8</sub>	Ritmo de produção
X <sub>9</sub>	Condição do isolamento térmico do forno (refatária das paredes, teto, etc)
X <sub>10</sub>	Eficiência dos queimadores
X <sub>11</sub>	Condição da malha
X <sub>12</sub>	Temperatura de operação
X <sub>13</sub>	Nível de automação do forno
X <sub>14</sub>	Adequação das válvulas de controle
X <sub>15</sub>	Composição do gás
X <sub>16</sub>	Ajuste das curvas de operação (nível II)

Tabela 2 – Matriz de esforço vs. Impacto

Matriz Esforço X Impacto			
<b>ESFORÇO</b> (para atuar sobre os "X's")	<b>ALTO</b>	X2 X5 X9 X10 X11 X13 X14 X15	X1
	<b>BAIXO</b>	X3 X4 X6 X12 X16 X7 X8	
		<b>ALTO</b>	<b>BAIXO</b>
		<b>IMPACTO</b>	

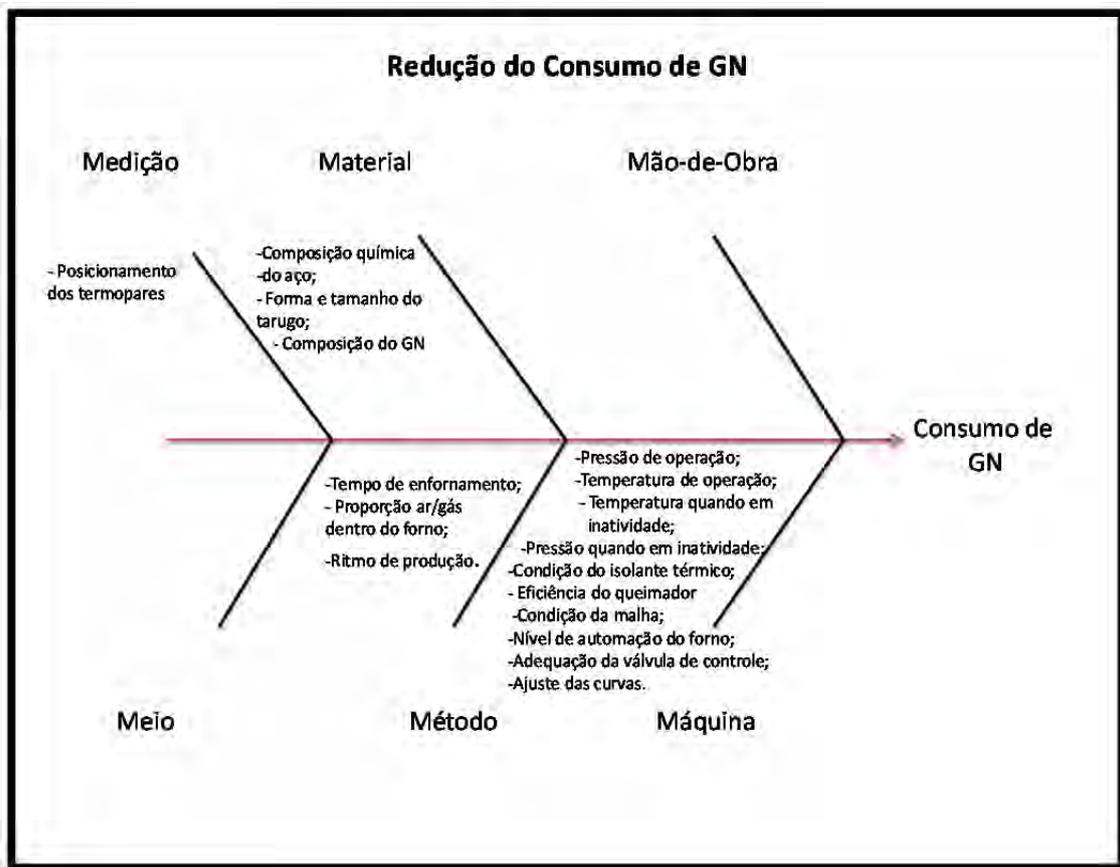


Figura 1 - Diagrama de Ishikawa.

Tabela 3 – Análise dos modos e efeito de falhas

Controle															
		FMEA			DATA DA EMISSÃO: 29/09/2011		CÉLULA:			 					
					ÚLTIMA REVISÃO: 07/12/2011		EQUIPAMENTOS:								
		( ) MANUTENÇÃO (x) PROCESSO ( ) SISTEMAS			RESPONSÁVEL: Gabriela										
ITEM:		Forno de Reaquecimento Stein					CÓDIGO:								
PARTICIPANTES															
SUB ITEM	ETAPA DO PROCESSO	Potencial X	FALHAS POSSÍVEIS			CONTROLES ATUAIS	ÍNDICES				AÇÕES	ÍNDICES			
			MODO	EFEITO	CAUSAS		G	O	D	R		G	O	D	R
1	Forno de Reaquecimento	Pressão do forno quando em inatividade	Varição de pressão	Consumo elevado de GN	Medição inadequada e controle deficiente	Medidor de pressão e malhas de controle	8	10	7	560	Elaborar lógica de pressão do forno que evite a perda de temperatura por baixa pressão.	8	4	5	160
	Forno de Reaquecimento	Temperatura do forno quando inativo	Temperatura muito alta	Consumo elevado de GN	Limites impróprios, condição de segurança inadequada e taxa de variação de temperatura muito baixa.	Medição de temperatura e Nivel 2 de automação.	8	10	8	640	Elaborar lógica que evite a perda de temperatura quando o fornos estiver inativo, fazendo testes de paradas e retomadas para avaliar melhor consumo.	8	4	4	128
	Forno de Reaquecimento	Pressão de operação do forno	Forno operando com baixa pressão	Queda de temperatura do forno	Medição inadequada e controle deficiente	Medidor de pressão e malhas de controle	7	10	7	490	Regular malhas de controle de pressão do forno para reduzir o off-set.	7	2	5	70
	Forno de Reaquecimento	Proporção ar x gás no interior do forno (estequiometria)	Relação estequiométrica fora da faixa de idealidade	Maior consumo de GN, possível ocorrência de fumos ou queda de temperatura.	Valor da relação setado no programa em desacordo com a composição do GN utilizado na região.	Valor default setado no programa	9	10	8	720	Calculo da relação estequiométrica GN/Ar em função da composição do GN utilizado na unidade	9	1	4	36
	Forno de Reaquecimento	Relação estequiométrica fora da faixa de idealidade	Varição de pressão de Ar e GN.	Maior consumo de GN, possível ocorrência de fumos ou queda de temperatura.	Imprecisão dos reguladores, curvas de vazão inadequadas (linear contra proporcional) e Ajuste PID inadequado	Regulador, medidor de pressão e malhas de controle	9	7	5	315	Otimizar a malha de controle da pressão de gás e do ar de combustão.	8	4	3	96
	Forno de Reaquecimento	Temperatura de operação	Medição inadequada de temperatura.	Consumo elevado de GN	Posicionamento inadequado dos termopares	Desenho e conceito de instalação	9	10	8	720	Verificar e ajustar a altura dos termopares no teto do forno	9	1	5	45
	Forno de Reaquecimento	Precisão das válvulas de controle	Varição de pressão de Ar, GN e pressão interna.	Maior consumo de GN, possível ocorrência de fumos ou queda de temperatura.	Imprecisão dos reguladores, curvas de vazão inadequadas (linear contra proporcional) e Ajuste PID inadequado	Regulador, medidor de pressão e malhas de controle	9	8	3	216	Reposicionar as válvulas controladoras para aumentar a sua precisão.	9	3	3	81
	Forno de Reaquecimento	Ajuste das curvas de operação (nível II)	Temperatura inadequada para os níveis de produção	Maior consumo de GN e temperatura imprópria para laminar.	Curvas de reaquecimento não otimizadas.	Nível II de automação do Forno	9	10	5	450	Otimização das curvas de reaquecimento.	9	2	2	36
GRAVIDADE			PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA			PROBABILIDADE DETECÇÃO				RISCO					
Apenas Perceptível 1			Muito remota 1			Muito alta 1									
Pouca Importância 2,3			Muito pequena 2			Alta 2,3				Baixo 1 a 99					
Moderadamente grave 4,5,6			Pequena 3			Moderada 4,5,6				Moderado 100 a 500					
Grave 7,8			Moderada 4,5,6			Pequena 7,8				Alto 501 a 1000					
Extremamente Grave 9,10			Alta 7,8			Muito Pequena 9									
			Muito Alta 9,10			Remota 10									

### 3 RESULTADOS

Os resultados alcançados pós-projeto foram: redução de 14% no consumo de gás, aumento do nível de Sigma para 2,64.

Outros ganhos adicionais são: replicação do projeto para os demais fornos da unidade e o retorno ambiental, visto que durante o projeto foi feito um estudo sobre a estequiometria ideal de combustão, reduzindo os níveis de CO e CO<sub>2</sub> emitidos e o ganho de energia elétrica devido a priorização do controle de pressão do forno utilizar primeiramente maior abertura da válvula de tiragem dos fumos (Damper) frente a maior carga do ventilador de tiragem.

Seguem abaixo os gráficos demonstrativos dos resultados do projeto.

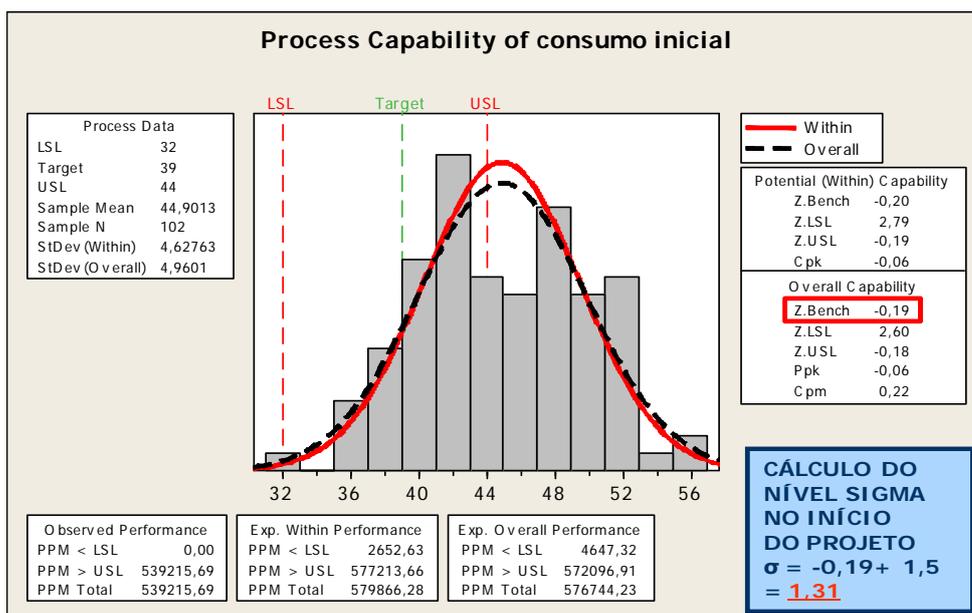


Figura 2 – Capacidade inicial.

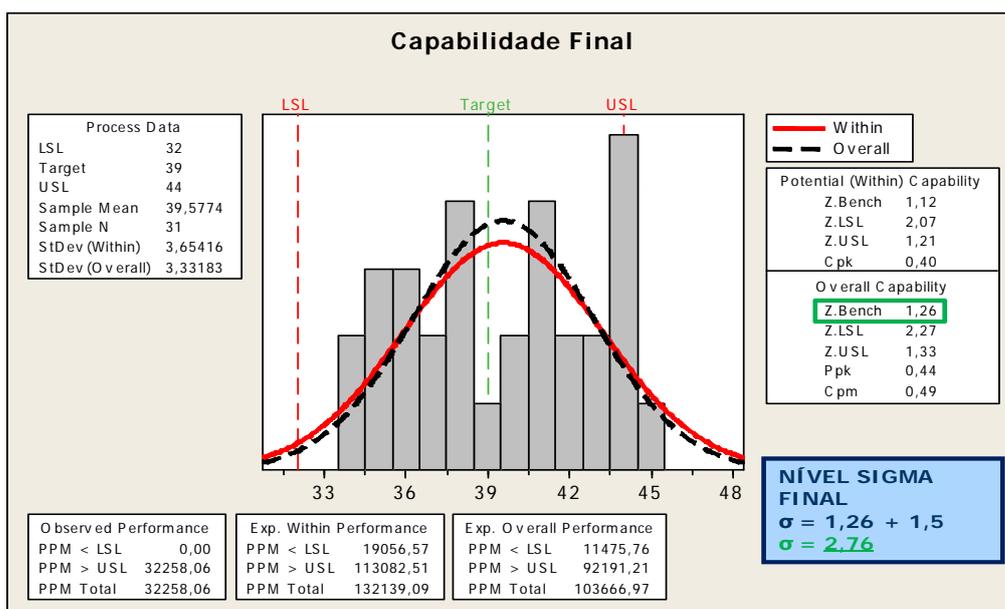


Figura 3 – Capacidade final.

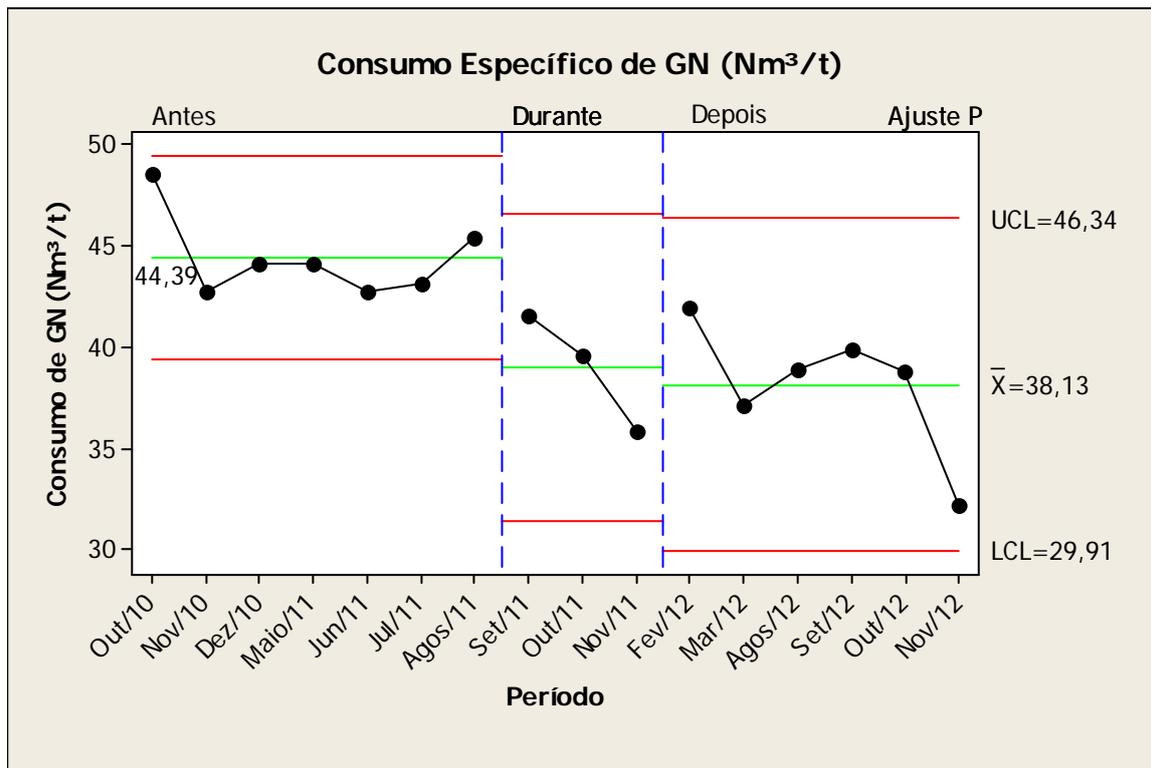


Figura 4 – Perfil de consumo de GN antes, durante e pós-projeto.

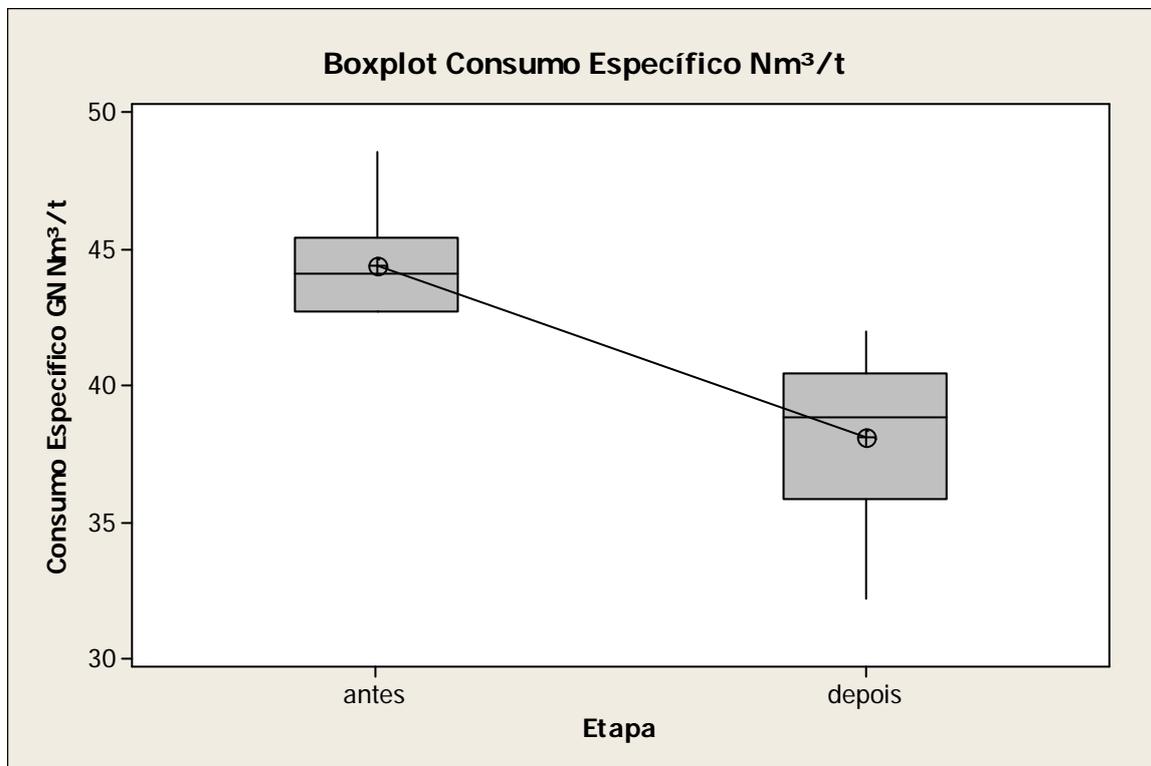


Figura 5 – BoxPlot de GN antes e pós-projeto.

#### **4 DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos com este trabalho, não podem ser comparados ao consumo com o qual performam outros fornos de reaquecimento conhecidos.

Tal fato deve-se a peculiaridade da forma de operação da área, em regime de três letras, com parada de produção nos finais de semana, sem desligar o forno. E também a expressiva gama de materiais que são laminados.

Porém um valor empírico de  $30\text{Nm}^3/\text{t}$  é o considerado ideal de consumo para um forno operando em condições normais, produzindo os sete dias da semana. Sendo assim, considerando as peculiaridades de operação da área, os resultados obtidos são satisfatórios e condizentes com o valor empírico de  $30\text{Nm}^3/\text{t}$  normalmente utilizado como métrica de um bom consumo para fornos de reaquecimento

#### **5 CONCLUSÃO**

O projeto superou a meta definida, portanto obtivemos êxito no desenvolvimento e também adquirimos novas competências com a metodologia DMAIC.

Na realização do projeto houve o envolvimento de equipe multifuncional e o resultado alcançado foi uma redução de 14% no consumo de gás e aumento do nível de sigma para 2,76. Porém a equipe do projeto estima que dentro do prazo de 1 ano a redução atingida seja de 18%.