



# REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO CONTROLE DAS ROTINAS OPERACIONAIS<sup>1</sup>

Emanuel Villanova<sup>2</sup>

Cássio Roberto Rocha<sup>3</sup>

Poliana Cristina Araújo<sup>4</sup>

Alex Fábio Araújo<sup>5</sup>

Fábio Moreira<sup>6</sup>

Daniel Seixas Breda<sup>7</sup>

## Resumo

A necessidade de redução do custo operacional se torna cada vez mais importante no ambiente competitivo entre os fabricantes de aço. Se tratando de Fornos elétricos a arco (FEA) a participação da energia elétrica corresponde a aproximadamente 15% do custo total do aço. Neste trabalho descrevemos alternativas operacionais para reduzir o consumo de energia elétrica nos fornos elétricos, forno panela e nos auxiliares da Aciaria e consequentemente o consumo específico de energia por tonelada de aço. São abordadas modificações nas variáveis de processo do forno elétrico a arco e do fluxo de produção. A base de dados é empírica de uma unidade produtora de aços longos levando em conta as possíveis variações de contenção de perda térmica. Com base nestes resultados, o ajuste de processo do forno, fluxo de produção ou a energia utilizada no forno panela foram otimizados. Tais modificações aportam ganhos significativos para aciarias. A economia de energia contemplam ações que abrangem a otimização na utilização dos equipamentos auxiliares. A redução no consumo de energia em Fornos se traduz também em ganhos de produção que abordamos neste trabalho. A despeito de outras técnicas aplicadas em redução de consumo de energia o trabalho apresenta uma alternativa de baixo custo e até mesmo sem investimentos.

**Palavras-chave:** Forno elétrico a arco; Economia de energia elétrica; Ganhos de produção; Fluxo de produção.

## REDUCTION OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION BY CONTROL OF OPERATIONAL ROUTINES

### Abstract

The need for operational cost reduction becomes increasingly important in the competitive environment among the steelmakers. When it comes to electric arc furnaces (EAF) the share of electric energy represents approximately 15% of the total cost of the steel. This paper describes operational alternatives to reduce the energy consumption in electric arc furnaces, ladle furnaces and auxiliary and therefore the specific energy consumption per ton of steel. Modifications are addressed in the process variables of the EAF and in the production flow. The database is an empirical unit producer of long steel considering the possible variations of heat loss containment. Based on these results, the adjustment of the EAF process, the production flow or the energy used in ladle furnace were optimized. Such modifications contribute to significant gains for melt shops. The energy saving includes actions of optimization in the use of auxiliary equipment. The reduction of energy consumption in EAF's is also reflected in gains of production. Despite of other techniques applied in order to reduce the energy consumption, this paper presents a low cost alternative, even without investment.

**Key words:** Electric arc furnace; Saving of electric energy; Production gains; Production flow.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

<sup>2</sup> Gerente de Aciaria, Votorantim Siderurgia, Barra Mansa, Rio de Janeiro, Brazil

<sup>3</sup> Consultor de Processo, Votorantim Siderurgia, Barra Mansa, RJ, Brazil

<sup>4</sup> Engenheira de Processo, Votorantim Siderurgia, Barra Mansa, RJ, Brazil

<sup>5</sup> Suporte Técnico, Votorantim Siderurgia, Barra Mansa, RJ, Brazil

<sup>6</sup> Supervisor, Votorantim Siderurgia, Barra Mansa, RJ, Brazil.

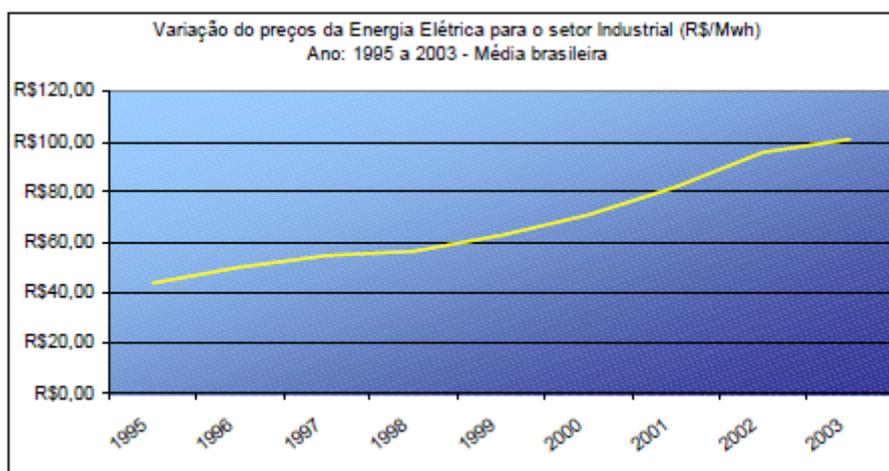
<sup>7</sup> Engenheiro Eletricista, Votorantim Siderurgia, Barra Mansa, RJ, Brazil



## 1 INTRODUÇÃO

Para incrementar a produtividade dos fornos elétricos a arco, os fabricantes de aço normalmente optam por maiores níveis de potência, ainda que acompanhados pelo incremento do consumo de energia elétrica. Porém, em um ambiente de mercado retraído, a produtividade do forno elétrico a arco perde importância para a necessidade de redução do custo de operação.

De acordo com Zanoni, com as privatizações das Indústrias no segmento em siderurgia ocorridas no final da década passada,<sup>(1)</sup> inevitavelmente os preços da energia elétrica tenderão a aumentar. Desta forma, o item energia irá pesar cada vez mais nas planilhas de custos das indústrias como um todo. Desde 1995 as tarifas de energia elétrica para a indústria sofreram reajustes de quase 200% no período, conforme pode ser visto na Figura 1.



FORNE: ANEEL

**Figura 1.** Taxa de resfriamento das painéis

Sendo assim, conforme o exposto anteriormente torna-se oportuno e de importância estratégica para o setor siderúrgico, em particular às que operam FEAs, o desenvolvimento de projetos e metodologias que visem a utilização de mecanismos que possibilitem eficiência energética e redução de custos e, por conseguinte ganho de competitividade.

O presente trabalho tem como objetivo reduzir o consumo de energia elétrica nos fornos elétricos, forno painel e nos equipamentos auxiliares impactando na redução de custo do processo de fabricação de aço líquido em aciarias elétricas.

O desafio deste trabalho é a redução do consumo de energia elétrica nos fornos elétricos e nos equipamentos auxiliares atuando em alterações no processo do forno elétrico a arco, no ciclo de painéis, contenção de perda térmica e desligamento automático de alguns equipamentos seguindo parâmetros pré-definidos e realizando o desligamento manual de outros.

### 1.1 Alteração no Processo dos Fornos Elétricos

Durante análises feitas na rotina do processo da Aciaria foi verificada oportunidade de ganho no processo de fabricação de aço no forno elétrico a arco. De acordo com Alameddine<sup>(2)</sup> a formação de escória espumante implica em perdas térmicas e contribui negativamente para o consumo de energia elétrica.



Para melhoria no desempenho da espumação da escória foram realizados estudos objetivando uma nova definição para adição de cal e coque no cesto de carga metálica.

Para isso, foi construída uma planilha de cálculos com o objetivo de quantificar a adição correta de coque na carga metálica em relação ao oxigênio de reação e os carburantes entrantes na carga metálica, foi utilizada a tabela 1 que mostra a correspondência entre a matéria prima carburante adicionada e o gusa equivalente contido em cada um, ou seja, as cargas metálicas que contribuem com percentual significativo de carbono.

**Tabela 1.** Planilha de correspondência para ajuste da relação oxigênio/ gusa equivalente

Matéria prima carburante	Tonelada	Tonelada de gusa equivalente
Gusa	1	1
Sucata de gusa	1	0,78
Ferro fundido	1	0,78
Coque	1	11,6

A partir da quantidade total de gusa equivalente na carga é possível calcular o percentual global de gusa equivalente contido no cesto de carga metálica e assim relacionar o volume de oxigênio de reação injetado nos fornos elétricos com este valor. Assim obter-se a relação ideal de 0,8 Nm<sup>3</sup> de oxigênio/%Gusa equivalente.

Outro parâmetro de processo muito importante é a basicidade binária, desta forma foi inserida uma planilha que possibilita o cálculo da quantidade ideal de Cal a ser adicionada no cesto ou injetada no FEA para cada Mix de carga metálica. Esta quantidade de Cal tem variação significativa já que o Mix de metálicos também é bastante variável. Assim é possível obter um controle de basicidade eficiente, como mostra a Tabela 2:

**Tabela 2.** Planilha de adição de Cal para ajuste de basicidade da escória

Silício contido na Carga Metálica (Kg)	Volume de Escória (Kg)	Sílica (kg)	Cal reação CaO (kg)	Basicidade ideal escória	Quantidade de Cal adicionado (Kg)
100	1412,5	214	374,5	1,75	416,11

## 1.2 Alterações no Ciclo de Painelas

O fluxo de painelas na aciaria foi otimizado com objetivo de reduzir o número de painelas à espera do processamento no Forno Painela. Sabe-se que quanto maior o tempo de espera da painela, maior será a perda térmica do aço, necessitando assim de um maior consumo de energia elétrica para recuperação desta energia perdida.

A partir desta avaliação foi realizada alteração no número de painelas no ciclo de quatro para duas, reduzindo o tempo médio de espera para início do refino secundário em 46 minutos.

A taxa de perda térmica de uma painela cheia é de aproximadamente 0,7°C por minuto, assim verifica-se uma redução de 32°C na perda térmica da painela cheia. Considerando a taxa de aquecimento no Forno elétrico um valor de 18°C por minuto, pode-se imprimir uma redução de 1,78 minutos no Power on do forno elétrico, ou seja, redução do tempo de forno ligado.



### 1.3 Redução do Consumo de Energia Elétrica através do Desligamento Automático dos Equipamentos Auxiliares

Foi realizada a estratificação das paradas não programadas da aciaria e verificou-se um número significativo de paradas mensais maiores que 60 minutos referentes a interrupções nos fornos elétricos. A partir deste dado, foi construído um Pareto mostrado na Figura 2 apresentando a potência instalada dos equipamentos auxiliares da aciaria e os equipamentos com maior impacto sobre o total. Pode-se observar que 40% da potência total instalada para os equipamentos auxiliares, ou seja, 5900kw é referente ao funcionamento do sistema de exaustão do despoejamento dos fornos elétricos.

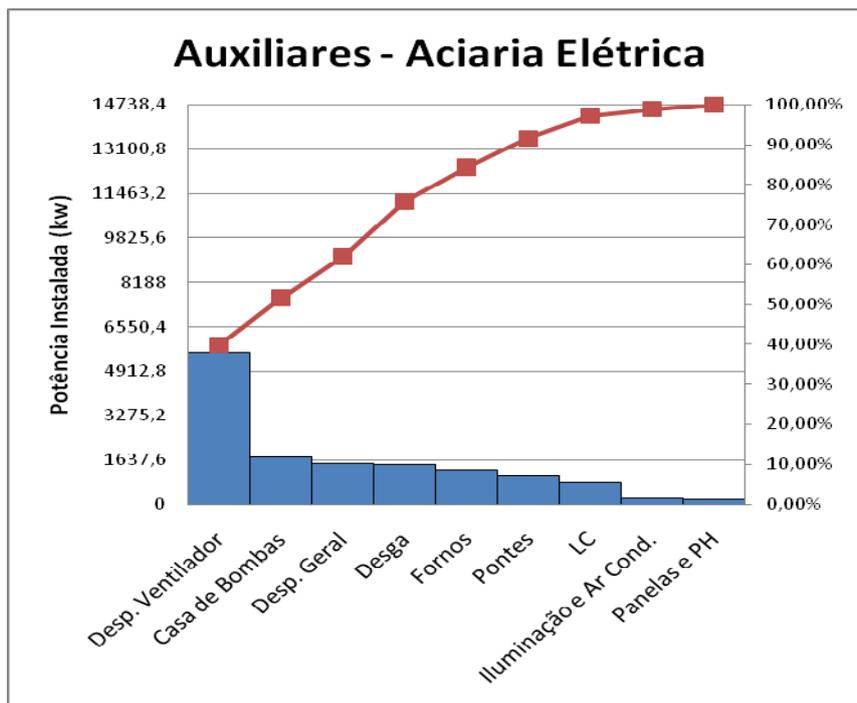


Figura 2. Pareto representando os equipamentos auxiliares de maior consumo da aciaria.

A partir da análise anterior foi constatada oportunidade de redução de consumo de energia elétrica através da implementação de uma lógica que identifica o tempo de inatividade desligado. Assim, este dispositivo sinaliza para efetuar o desligamento automático dos ventiladores do despoejamento em caso de paradas superiores a 60 minutos. Em relação aos motores das bombas do spray e motores das torres de resfriamento optou-se por desligamento manual devido ao custo de automatização. A economia pode ser calculada através das equações abaixo:

$$\text{Deslig. Automático(R\$)} = \text{Potência(kw)} * \text{tempo(h)} * \text{custo(R\$)}$$

$$\text{Deslig. Manual(R\$)} = \text{Potência(kw)} * \text{tempo(h)} * \text{custo(R\$)}$$

A Tabela 3 apresenta a potência e a economia referente aos ventiladores do despoejamento, motores das bombas do spray e motores das torres de resfriamento.

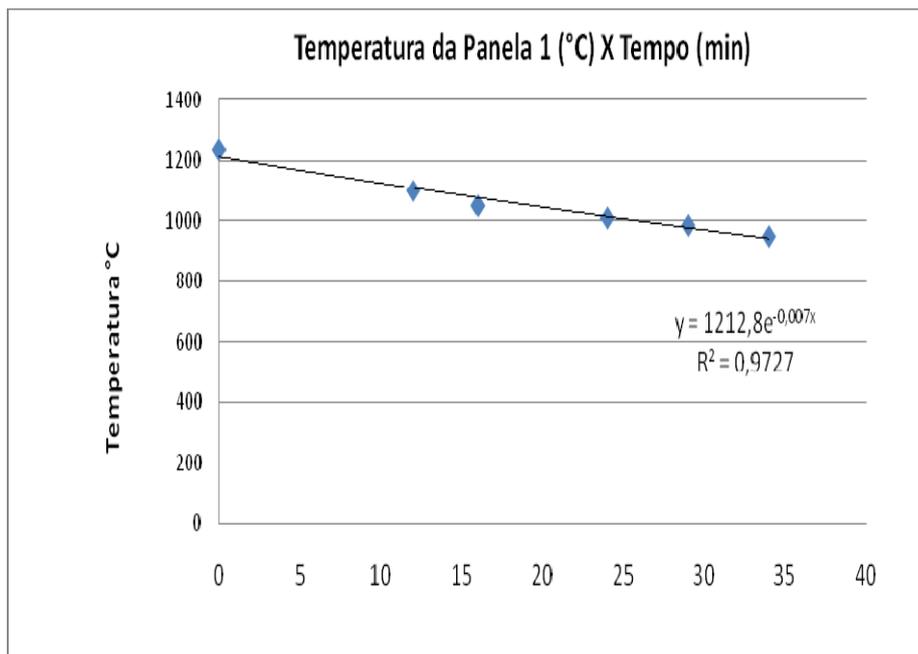


**Tabela 3.** Potência e economia dos equipamentos auxiliares da aciaria

Modo de desligamento	Energia Elétrica – Sazonal Aciaria					
	Equipamento	Potência (Kw)	Qtde	Qtde Desl	Sazonal (h)	Economia (kwh)
Automático	Ventiladores despoeiramento	150	1	1	2,5	375
Manual	Motores das bombas do spray	150	3	2	2,5	750
Manual	Motores das torres de resfriamento	22	2	2	2,5	110

### 1.4 Criação de Procedimentos para Contenção Térmica de Painelas

Analisado o efeito do resfriamento das painelas, foi constatado que a perda de temperatura das painelas vazias pode ser reduzida em cerca de 50% através de contenção térmica, reduzindo assim a troca de calor por radiação e convecção. O gráfico da Figura 3 representa o perfil de temperatura de uma painela vazia e o gráfico da Figura 4 mostra a taxa de resfriamento das painelas vazias que variam de acordo com a temperatura inicial, ou seja, quanto maior a temperatura, maior será a taxa de resfriamento tendendo a se estabilizar após alcançar a temperatura a cerca de 800°C independente da temperatura inicial da painela.



**Figura 3.** Perfil de temperatura das painelas.

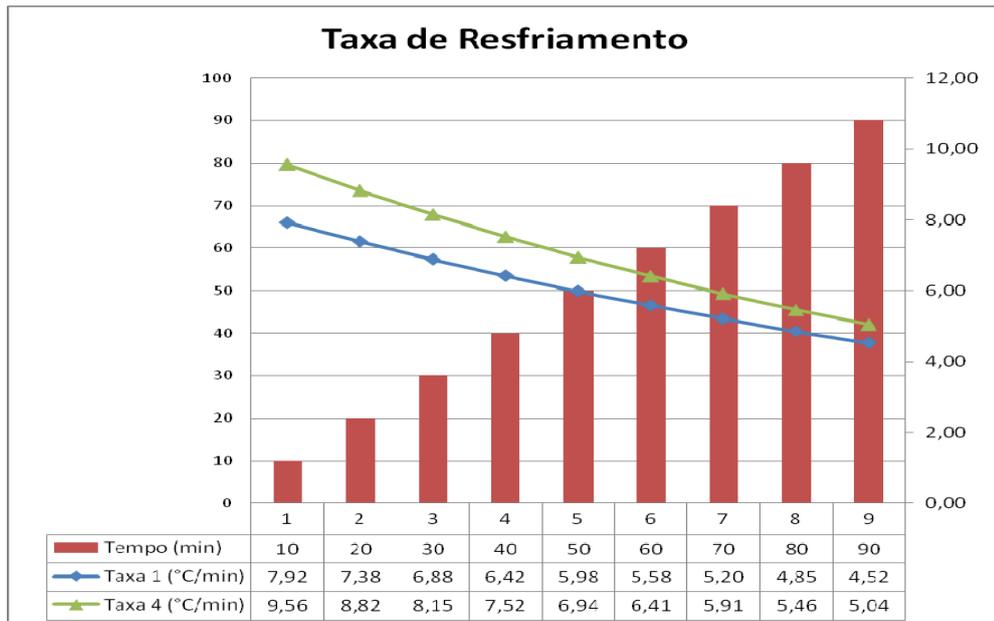


Figura 4. Taxa de resfriamento das panelas .

O gráfico da Figura 5 quantifica a importância da utilização das tampas nas panelas vazias. A perda de temperatura do aço considerando um tempo de espera médio de 30min chega a aproximadamente 15°C entre a panela com tampa e sem tampa. O gráfico da Figura 6 mostra o efeito da temperatura de vazamento em relação ao tempo de transporte da panela vazia com e sem tampa. Pode-se observar que a diferença entre o efeito da temperatura de vazamento entre a panela com tampa e sem tampa cresce inicialmente e fica constante até 16 horas, após este tempo o efeito é igual para as duas situações.

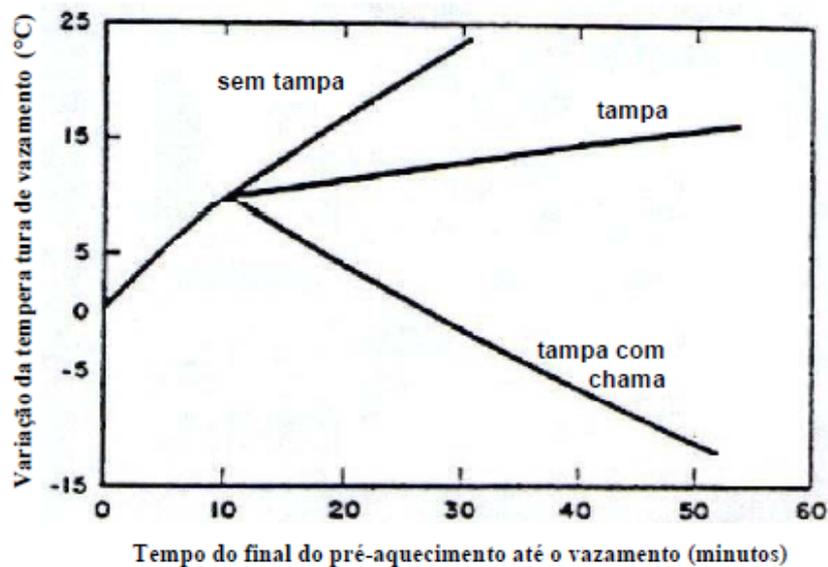
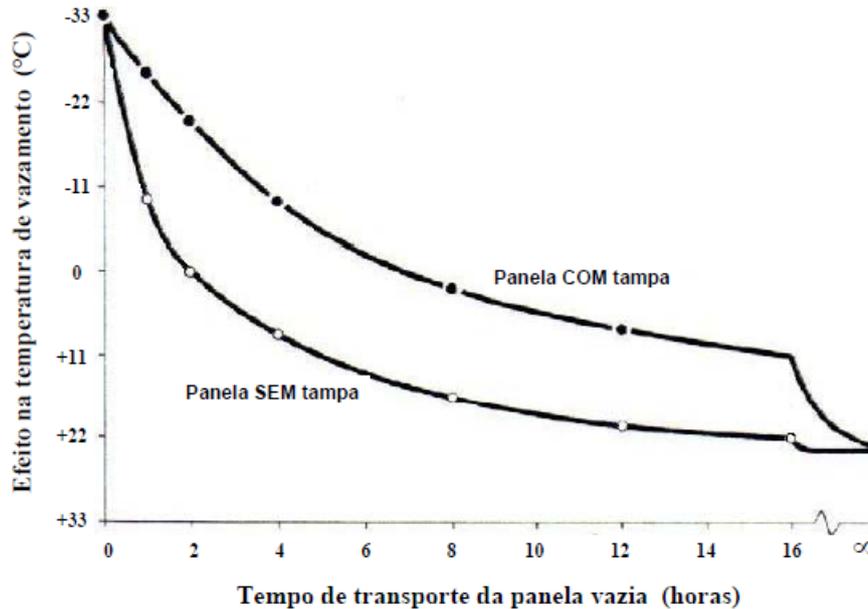


Figura 5. Comparativo entre a variação da temperatura de vazamento em relação ao tempo de pré-aquecimento das panelas com tampa e sem tampa.



**Figura 6.** Efeito da temperatura de vazamento em relação ao tempo de transporte da panela vazia com e sem tampa.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar alterações no processo dos fornos, adotou-se a seguinte sistemática:

- Através de uma planilha, foi calculado o coque necessário na carga tomando por base a relação ideal entre oxigênio de reação e percentual total de gusa equivalente contido na carga, o qual é estimado através do percentual de gusa equivalente contido em cada carburante. A cada alteração do mix de sucata, a planilha é alimentada com os percentuais de cada carburante metálico sendo eles, gusa, sucata de gusa e ferro fundido. Desta forma é calculada a quantidade correta de coque.
- A planilha de ajuste de basicidade da escória foi construída com base no teor de silício contido na carga metálica e na basicidade objetivada. Assim, para cada alteração no mix de sucata é calculada quantidade ideal de cal a ser adicionada no processo.
- Para medir a taxa de perda térmica nas panelas foram feitas aferições em intervalos de tempo pré determinados utilizando um pirômetro portátil. Assim foi possível calcular o menor tempo de residência da panela vazia após o pré aquecimento e a redução da temperatura de vazamento nos fornos. Outra finalidade da utilização do pirômetro portátil foi a aferição das panelas cheias objetivando o menor número de panelas em espera garantindo uma menor perda térmica.
- Para a redução do consumo de energia elétrica nos equipamentos auxiliares, foram levantadas as potências instaladas em cada equipamento. Assim foi construído um gráfico pareto apontando maior prioridade de atuação nos ventiladores do despoejamento.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O consumo de energia elétrica da aciaria decresceu e se estabilizou nos meses subsequentes a partir das alterações feitas em maio de 2010. Foram feitas alterações no processo dos fornos elétricos, desligamentos automáticos e manual dos equipamentos auxiliares, alteração no fluxo de painéis cheias e prática de contenção térmica de painéis vazios, contudo a alteração mais significativa, ou seja, que obteve maior contribuição para redução de consumo de energia elétrica foi a redução do power on dos fornos elétricos, pois além da redução de energia elétrica consumida tem-se o aumento de produção, ou seja, redução na energia elétrica específica.

O gráfico da Figura 7 mostra o percentual de consumo de energia elétrica acima e abaixo da meta estabelecida nos meses do ano de 2010. Devido a uma falha no stirrer em setembro e no transformador do forno elétrico em novembro e dezembro, observa-se um aumento na energia consumida nestes dois meses como mostra o gráfico abaixo. Este consumo aumenta devido ao aumento na temperatura de vazamento no forno elétrico e conseqüente maior power on e maior consumo. Analisando o gráfico a seguir, podemos observar que o consumo médio de energia elétrica correspondente aos meses de janeiro à abril é de 5,8% maior que a meta estabelecida. Já nos meses de maio à dezembro excluindo os meses de setembro, novembro e dezembro representa uma média de -0,56%, ou seja, o consumo de energia elétrica ficou abaixo da meta. Esse resultado é devido ao somatório das ações citadas anteriormente nos fornos elétricos e auxiliares.

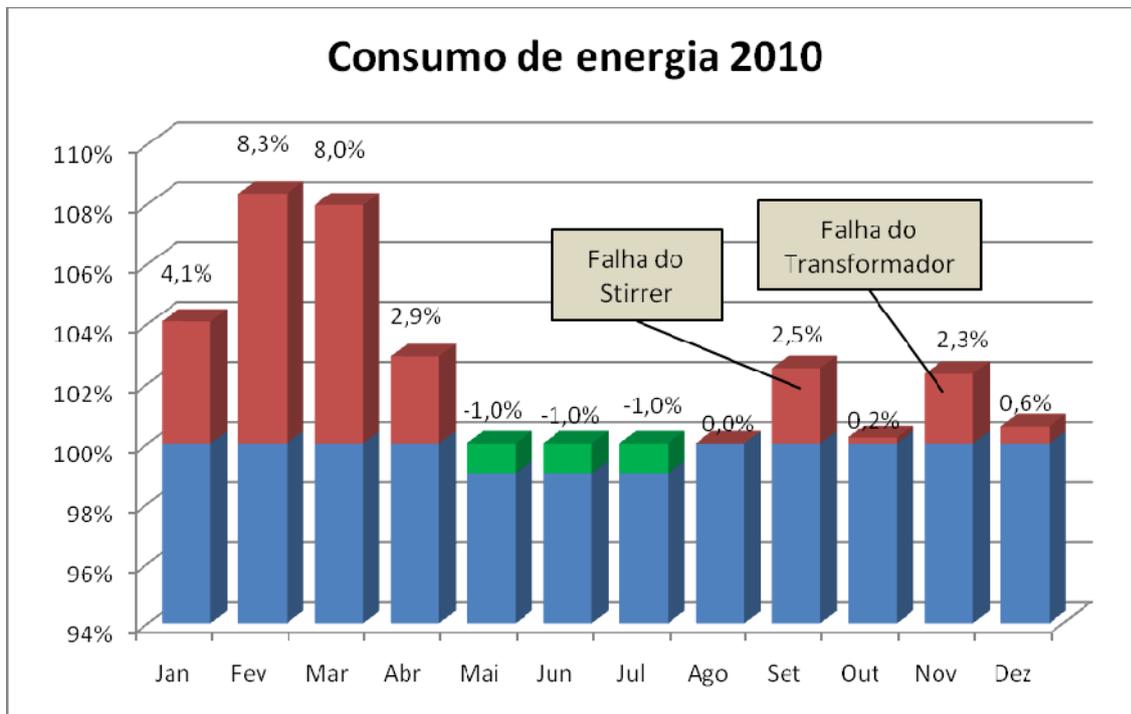


Figura 7. Consumo de energia elétrica no período de janeiro a dezembro do ano de 2010

O gráfico da Figura 88 mostra o percentual de power on acima e abaixo da meta estabelecida nos meses do ano de 2010. Assim como no consumo de energia elétrica, as falhas no stirrer e transformador causaram impacto no power on dos meses de setembro, novembro e dezembro. Analisando os meses de janeiro a abril pode-se observar uma média de -0,25%, ou seja, o power on ficou abaixo da meta



estabelecida. Já nos meses de maio a dezembro excluindo os meses de setembro, novembro e dezembro o power on representa uma média de -4,1% abaixo da meta estabelecida. Para a redução de energia elétrica considera-se também o aumento de produção de 1,6 toneladas por corrida devido a redução do power on.

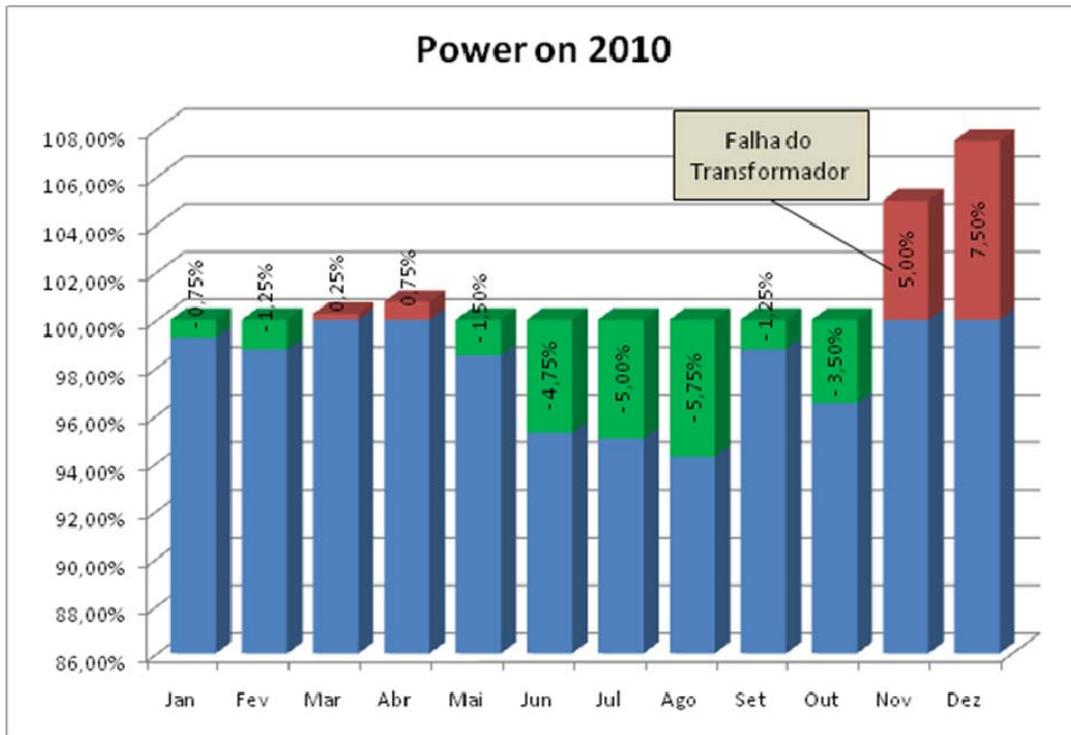


Figura 8. Power on dos Fornos elétricos a arco no período de janeiro a dezembro do ano de 2010

O gráfico da Figura 9 mostra o consumo de energia elétrica nos fornos elétricos, forno panela, equipamentos auxiliares e a meta estabelecida para a energia total da aciaria no ano de 2010. O maior impacto na redução do consumo de energia elétrica é nos fornos elétricos, confirmando a análise anterior.

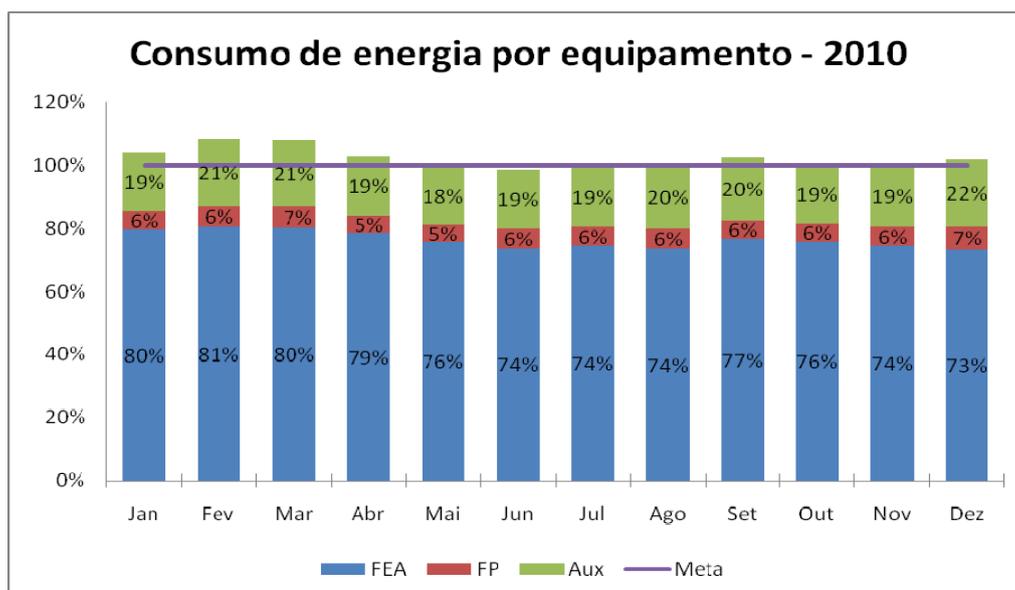


Figura 9. Consumo de energia elétrica por equipamento no período de janeiro a dezembro do ano de 2010.



## 4 CONCLUSÃO

Em conclusão, discutimos neste trabalho, a redução na demanda de energia elétrica dos fornos elétricos a arco de 5,8% acima da meta de energia para 0,56% abaixo da meta estabelecida.

Para alcançar os resultados citados acima foi essencial a eficácia das seguintes alterações no processo e rotina operacional da aciaria:

1. A utilização de escória espumante para proteger o arco elétrico e evitar perdas térmicas durante o refino, além de aumentar o rendimento metálico pela redução do FeO, reduzindo assim o consumo específico de energia elétrica.
2. Redução do Power on de 0,25% para 0,41% através de contenção térmica de panelas vazias e alteração no fluxo de panelas que aguardam processo de refino secundário no forno panela.
3. A redução no consumo de energia elétrica nos equipamentos auxiliares em 1%. Essa economia foi possível através do desligamento automático dos ventiladores do despoeiramento e desligamento manual dos motores das bombas do spray e motores das torres de resfriamento em caso de paradas superiores a 60 minutos.

Finalmente, é importante ressaltar que não houveram investimentos significativos para a realização das alterações citadas neste trabalho.

## Agradecimentos

Agradeço a todos os funcionários da aciaria da Votorantim Siderurgia, unidade de Barra Mansa que contribuíram para execução deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- 1 ZANONI, C. Análise exergética de um forno elétrico a arco. 2004. Porto Alegre, Cap. 1, p. 26-35.
- 2 ALAMEDDINE, S. Innovative solutions for lowering the conversion cost of steel in arc furnaces. IN: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ACIARIA, 41, 2010, Resende. São Paulo ABM 2010. P 54-70.