



## Otimização do Consumo de Energia Elétrica Estudo de Caso em Indústria Metalmeccânica

**Grazielle A. Coutinho<sup>1</sup>, Leandro Wiemes<sup>2</sup>,  
Marcelo S. Stevan<sup>3</sup>, Nicole M. Hoff<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR ([graziellecoutinho@hotmail.com](mailto:graziellecoutinho@hotmail.com))

<sup>2</sup>Faculdade Metropolitana de Curitiba – FAMEC ([leandro.wiemes@gmail.com](mailto:leandro.wiemes@gmail.com))

<sup>3</sup>Universidade de Curitiba – UNICURITIBA ([marcstev@gmail.com](mailto:marcstev@gmail.com))

<sup>4</sup>Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC-PR ([nmhoff@hotmail.com](mailto:nmhoff@hotmail.com))

### Resumo

A energia elétrica no Brasil é considerada um recurso amplamente disponível, principalmente em função de suas fontes geradoras: as hidrelétricas. No entanto, é um recurso que apresenta valor considerável quando utilizada nos processos de transformação e fabricação de produtos. Na indústria metalmeccânica, a energia elétrica é essencial para o funcionamento de centros de usinagem, sistemas de movimentação e até para a iluminação e climatização de prédio. Do ponto de vista econômico e de rentabilidade deste processo de fabricação, ela passa a ser um elemento importante que deve ser monitorado a fim de identificar formas para reduzir um dos mais altos custos fixos de fabricação. Este artigo transcreve a experiência desenvolvida em indústria metalmeccânica através da identificação de oportunidades de redução de consumo, hierarquização e priorização ações de otimização e a efetiva aplicação na respectiva fábrica. Através da aplicação dessa sistemática de trabalho, que consistiu no diagnóstico inicial, estudo do potencial de redução pela reparametrização de equipamentos, otimização de tempos e métodos de utilização de máquinas e, por meio do monitoramento dos resultados obtidos ao final das respectivas ações. O resultado final obtido foi uma redução de 19% no consumo de energia elétrica da respectiva fábrica.

Palavras-chave: Uso Racional de Energia Elétrica, Desperdício, Otimização.

Área Temática: Energia

### Abstract

*Electricity in Brazil is considered a resource widely available, mainly due to their power sources: the hydroelectric plants. However, it is a resource that has considerable value when used in processing and manufacturing of products. In the metalworking industry, electric power is essential to the operation of machining centers, handling systems and even for lighting and air conditioning of the building. From the economic point of view and profitability of the manufacturing process, it becomes an important element that should be monitored to identify ways to reduce one of the highest fixed manufacturing costs. This article transcribes the experience gained in the automotive industry by identifying opportunities to reduce consumption, ranking and prioritizing actions for optimization, and effective implementation in metalworking industry. By applying this systematic work, which consisted of initial diagnosis, study the potential for reducing the reparameterization of equipment, optimization of time and methods of using machines, and by monitoring the results at the end of their actions. The final result was a 19% reduction in power consumption of their factory.*

*Key words: Rational Use of Energy, Optimization, Waste.*

*Theme Area: Electric Power*



## 1 Introdução

A otimização realizada em produtos e/ou processos industriais traz consigo muitos benefícios, sendo o principal deles a economia de recursos sejam eles de caráter ambiental ou da própria otimização de produto. Em muitos casos, ações de otimização podem ser traduzidas em economias financeiras para as organizações. Otimizações muito frequentes podem ser observadas no dia-a-dia, abordadas em âmbito ilustrativo, é possível citar a utilização do plástico no lugar do aço e até mesmo do vidro. Apesar das etapas iniciais de transformação do petróleo em matéria prima específica também exigir somas importantes de recursos energéticos, são consideravelmente menores quando comparados aos processos de extração e beneficiamento do aço. Obtém-se através de simples exemplo uma economia relativamente grande em termos de consumo de energia elétrica e porque não dizer também em termos de desenvolvimento de novos produtos e/ou processos que irão minimizar os impactos ambientais.

Em empresas certificadas pelo Sistema de Gestão Ambiental - ISO 14.000 são preconizados, nos seus itens de controle, o monitoramento do consumo de recursos naturais que apresentam relevância e impacto ambiental considerável, tomando como exemplos o consumo de água, energia elétrica, entre outros.

Neste contexto, uma Indústria Metalmeccânica apresenta relevância considerável em termos da demanda sobre o consumo de energia elétrica. No intuito de atender os objetivos ambientais propostos para reduzir o consumo de energia elétrica, foi desenvolvido um trabalho bastante abrangente nesta Fábrica de modo a identificar oportunidades de melhoria.

A fábrica foi concebida e estruturada com base em padrões ambientais bastante relevantes para a época de sua construção (em 1999). Neste sentido, foram instalados sistemas de medição de consumo de energia elétrica para cada linha do processo de fabricação, e estes medidores foram interligados a um sistema supervisorio que concentra todas as informações em um único local, possibilitando a emissão de relatórios/gráficos/indicadores para o item em estudo: consumo de energia elétrica.

A fábrica de motores em estudo está dividida por processos de fabricação que podem ser definidos como: Usinagem e Centrais de filtração de óleo, Máquinas de Limpeza de componentes e Linha de Montagem. As ações de economia de energia foram desenvolvidas no período de 2004 a 2006, no qual a fábrica operava em quatro turnos de produção, produzindo aproximadamente 620 motores por turno. A empresa no momento da aplicação da metodologia em estudo operava com aproximadamente 550 colaboradores.

## 2 Revisão Bibliográfica

Segundo Goldenberg (2007), o Brasil possui um sistema de energia relativamente “limpo”, contando significativamente com fontes de energia renovável, como a biomassa e a hidroeletricidade. Não obstante, a questão importante é a de saber como os combustíveis fósseis são usados para satisfazer as necessidades de energia intensiva das indústrias no setor manufatureiro, altamente intensivas no uso de energia, do aumento da urbanização e do rápido crescimento do setor de transportes rodoviários sem causar danos excessivos ao meio ambiente.

As classes de consumo residencial, comercial e rural obtiveram expressivos ganhos de participação, enquanto o segmento industrial teve participação menor neste crescimento, principalmente pela utilização de tecnologias mais eficientes no uso final da eletricidade, aliada às medidas de racionalização de consumo postas em prática no final na década de 90 e a partir do novo milênio (PASCHOALINO e LOUREIRO, 2007).



Uma das iniciativas que o setor público desenvolve e divulga em âmbito nacional, diz respeito ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). O PROCEL Indústria é um desses programas que teve sua origem em meados do ano de 2001, justamente durante a pior crise que o Brasil havia passado que foi o apagão. É uma ação coordenada pela Eletrobrás e que divulga em âmbito nacional ações que contribuem significativamente para a otimização, conservação e redução do consumo de energia elétrica. Conforme dados informados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2009), a distribuição energética no país apresenta a configuração evidenciada na Figura 1. O desdobramento da informação contida na Figura 2 demonstra os principais tipos de usos da energia elétrica no Setor Industrial.

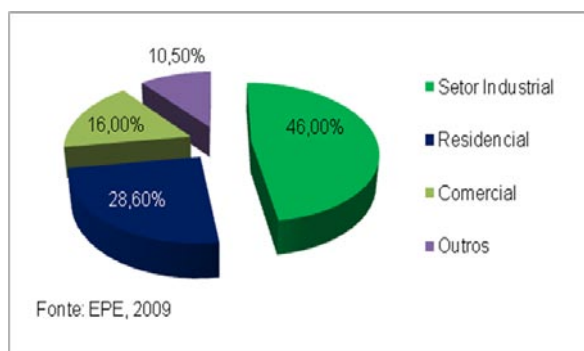


Figura 1: Distribuição energética no Brasil.

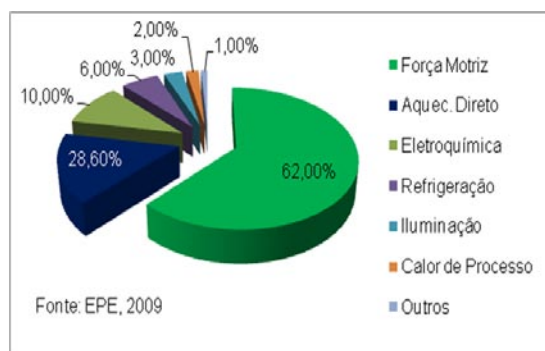


Figura 2: Tipos de Usos da Energia.

A eficiência energética pode ser apresentada como a relação entre energia consumida e o volume de produção. Assim, a eficiência energética melhora quanto menor for a quantidade de energia necessária para a produção de determinado produto. (BURANI *et al* 2006).

O desenvolvimento de ações de redução de consumo de energia elétrica no setor industrial, além de proporcionar ganhos financeiros, pode ser interpretado como resultados efetivos na busca pela eficiência energética, sustentabilidade ambiental e consciência de conservação de recursos energéticos.

### 3 Materiais e Métodos

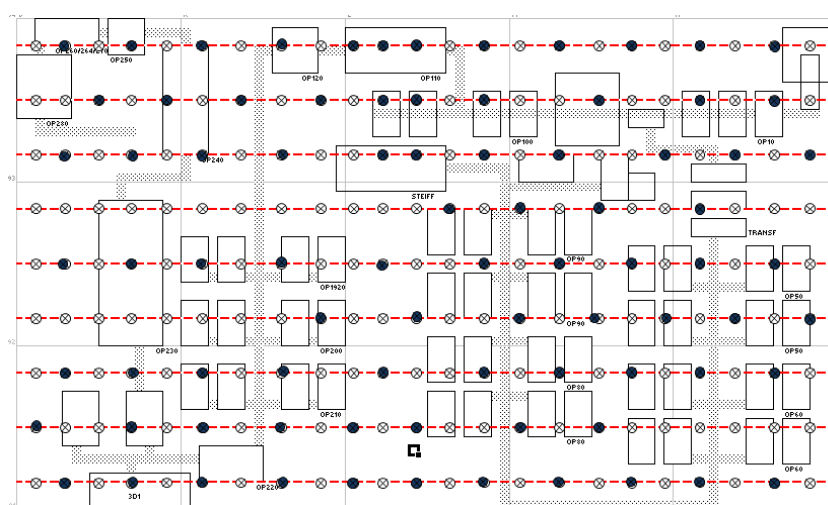
Para o desenvolvimento e organização do trabalho o departamento de Engenharia de Manutenção contou com a participação efetiva de 4 pessoas. Uma delas o gerente da área, dois engenheiros de manutenção (especialistas em eletroeletrônica) responsáveis pelo levantamento das informações, análise dos riscos e padronização das ações e sistemas posteriormente definidos, e uma analista de manutenção que era responsável pela gestão das informações, ou seja, pela coleta de dados e compilação dos mesmos em planilhas, e transcrição de procedimentos. Para implantação efetiva foi definido um subgrupo composto por colaboradores das áreas de fábrica, esses colaboradores eram ligados diretamente às áreas de fabricação, com a atribuição de coletar as informações de funcionamento e operação das linhas de produção. Foi definido um calendário de reuniões diárias para o grupo central e reuniões semanais para o subgrupo, neste calendário ainda contemplava uma reunião quinzenal com a direção da fábrica e os gerentes das áreas de produção para a apresentação da evolução das atividades e os resultados obtidos, e uma reunião mensal com o diretor geral do complexo de fábricas. Dentro da estratégia do grupo foi definido inicialmente o percurso a ser realizado. A metodologia de desenvolvimento das ações de redução do consumo partia das seguintes etapas básicas: Levantamento dos dados de consumo, estudo dos potenciais de redução, análise dos efeitos testes de desligamento, proposição de ações de ruptura, quantificação do investimento necessário, priorização das ações com alto retorno e baixo



investimento, implantação das ações de melhoria, padronização das mesmas através de procedimentos e treinamentos das equipes de fabricação. Sendo utilizado como sequência lógica do desenvolvimento do projeto, as seguintes etapas:

- Inventário geral de equipamentos x potências;
- Identificação dos pontos de desperdício;
- Definição Indicadores de consumo diário, padronizados para linhas de fabricação;
- Análise dados;
- Identificação do potencial de ganho;
- Análise dos Riscos de Desligamento
- Testes de desligamento;
- Validação dos mapas de desligamento;
- Levantamento dos custos associados às necessidades de desligamentos;
- Padronização das ações de desligamento definidas;

O elemento inicial do trabalho consistiu na realização de inventário das máquinas e equipamentos dispostos na fábrica. No desenvolvimento do trabalho também foi levado em consideração o detalhamento do sistema de iluminação da fábrica, com a decomposição por tipo de iluminação, horários de funcionamento, eficiência de iluminamento com base nos parâmetros estabelecidos pela NBR 05413, potência, e disposição nas localizações da fábrica. Foram realizados mapas como o apresentado na Figura 3 e verificações *in loco*, de modo a identificar as luminárias desnecessárias. As principais medidas adotadas foram: desligamento da iluminação geral nos horários de não funcionamento da produção, desligamento definitivo de iluminação desnecessária (iluminação sobre máquinas e estoques) conforme Figura 3 e substituição de luminárias mais econômicas. O mapa também auxiliou na definição de quais luminárias deveriam permanecer acesas. Na Figura 1 existem várias marcações na forma de pequenas bolas. A bola marcada na coloração preta caracteriza uma luminária que pode ser desligada. Já aquela que apresenta um “X” no seu interior indicia que a mesma deve permanecer ligada durante a jornada de trabalho. As linhas tracejadas em vermelho indicam a linha de alimentação elétrica das luminárias.





sobre as mesmas a presença de clarabóia. Na foto da direita, a incidência de luz natural ocorre através das janelas do próprio prédio.

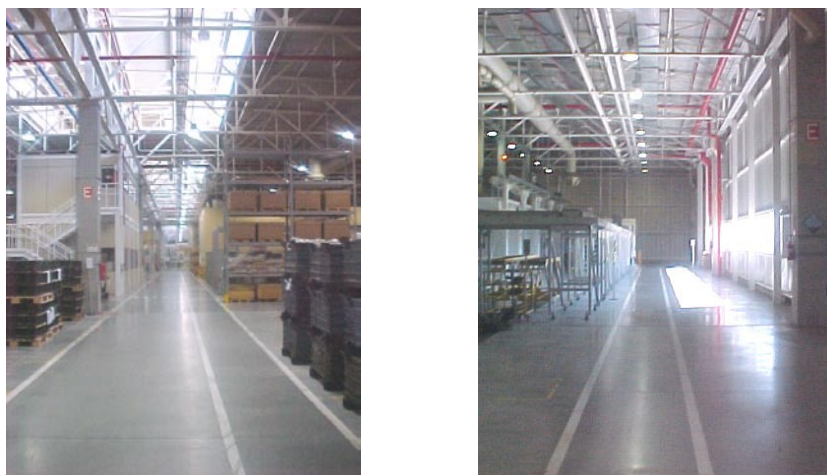


Figura 4 – Foto do ponto de desperdício de Energia Elétrica.

A partir do momento que as máquinas foram inventariadas, ou seja, identificadas sua localização, seu regime de funcionamento, fontes de desperdícios entre outros elementos, foi possível alocá-las em um layout e posteriormente foi proposta a divisão das áreas a serem controladas conforme Figura 5. Ainda como elemento de estratégia do grupo e também para contribuir no bom andamento das atividades fez-se necessário definir os indicadores de acompanhamento padrão e as ações a serem estabelecidas para cada linha e grupos de equipamento. Somente assim foi possível obter uma excelente análise dos dados, de forma a quantificar o potencial de ganho durante o período.

A Figura 5 apresenta de forma pictórica a condição de funcionamento de um conjunto de máquinas que formam um centro de usinagem. Na coloração verde encontram-se as diversas partes do conjunto que podem ser desligadas no período correspondente a parada de produção, seja ele durante semana ou final de semana. A coloração amarela indica que o sistema deve permanecer na condição *stand-by*, ou seja, numa condição que não está completamente desligado. Caso seja necessário este maquinário é prontamente ligado. Para a coloração vermelha a definição apresentada é de que esta máquina não pode ser desligada em nenhuma condição fora do horário de trabalho durante a semana e até em finais de semana.



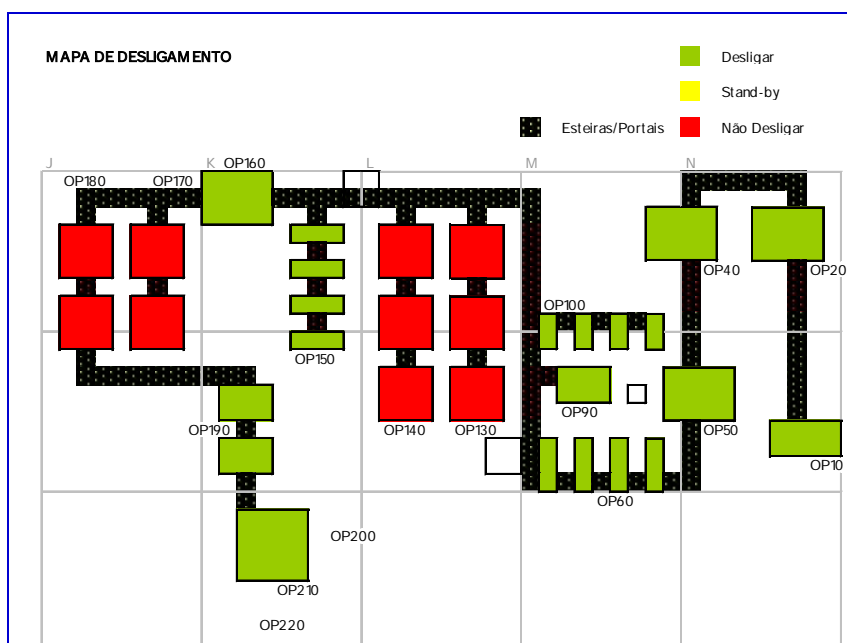
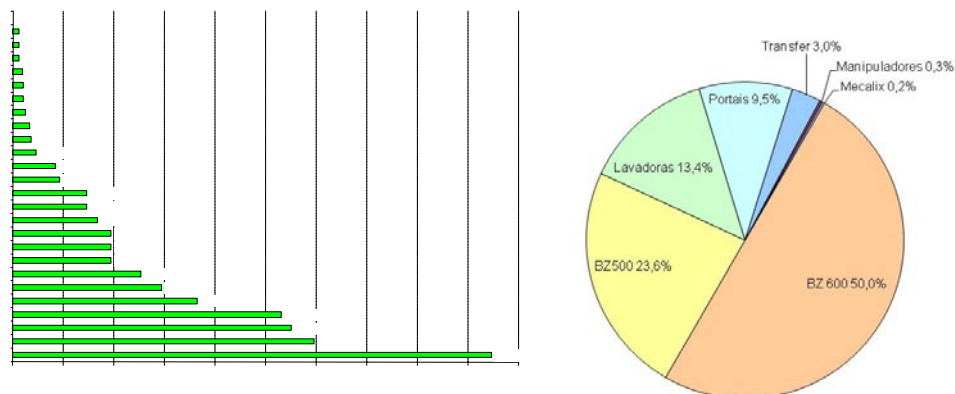


Figura 5 – Mapa de desligamento de máquinas. Fonte: os autores (2006).

Os elementos que constituem o Gráfico 1 foram utilizados para identificar que operações seriam levadas em consideração ou analisadas e priorizadas durante as respectivas reuniões do grupo de trabalho. O gráfico de barras apresenta a distribuição de consumo de energia elétrica para cada operação realizada numa determinada linha. No gráfico ao lado (pizza) estão identificadas as famílias de máquinas e seus respectivos percentuais de consumo.



Fonte: os autores (2006)

Gráfico 1 - Distribuição do consumo das Linhas de Usinagem 1 e 2, por família de equipamento.

A partir dessas avaliações foi possível traçar quais atividades seriam desenvolvidas, de que forma isso seria feito e principalmente a obtenção do valor estimado (além da sua contribuição em termos percentuais) esperado para a dita ação, como pode ser visualizado no Quadro 1.

O quê?	Como?	Quanto?
Iluminação Interna Fábrica	Otimizar horários de funcionamento	50 MW/mês (u3%)



## 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010

Climatização e Ar condicionado	Desligar equipamentos quando não necessários	20 MW/mês (1%)
Iluminação Interna Fábrica	Aproveitamento iluminação natural	15 MW/mês (0,7%)
Linhas de Usinagem	Desligamento dos equipamentos em finais de semana	58 MW/mês (3%)

Fonte: os autores (2006)

### Quadro 1 – Critérios e possibilidades de desligamento.

O Quadro 2 apresenta uma análise das diversas Centrais de Filtragem de fluido de corte. Considerando este material, foram identificados os principais sistemas de cada linha, e a partir de então, vários testes foram realizados para determinar a quantidade de equipamentos que apresentavam possibilidade de desligamento nas paradas de turnos e em finais de semana.

Centrais de Filtragem - Análise Parada Final de Semana

Descrição		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Linha atendida		bloco	bloco/vira	virabrequim	virabrequim	cabeçote	lavadoras	virabrequim	cabeçote	bloco
Peça usinada		ferro	ferro	ferro	ferro	alu	ferro/alu	ferro	alu	ferro
Tipo Produto		emulsão	óleo integral	emulsão	emulsão	emulsão	desengraxante	óleo integral	emulsão	emulsão
Número de Bombas Alimentação	unid	7	2	3	3	5	5	2	2	1
Bombas Comprometidas	unid	6	1	2	2	4	4	1	1	1
Potência motor	kW	55	18	45	30	55	55	11	37	3,7
Possibilidade de Parada		7	2	3	3	5	5	2	2	1
Número de Bombas Filtro	unid		2					2		
Bombas Comprometidas			1					1		
Potência motor	kW		11					7,5		
Possibilidade de Parada			*1					*1		
Número de Bombas Mistura	unid		2					2		
Bombas Comprometidas			1					1		
Potência motor	kW		9					5,5		
Possibilidade de Parada			2					2		
Número de Bombas Resíduo	unid			2					2	
Bombas Comprometidas				1					1	
Potência motor	kW			2,2					2,2	
Possibilidade de Parada				2					2	
Número de Bombas Retorno	unid	5	2	3	2	7	5	4	2	2
Bombas Comprometidas		4	1	2	1	6	4	3	1	1
Potência motor	kW	55	15	5,5	55	11	2,2	55	11	2,2
Possibilidade de Parada		4	1	1	1	1	*	3	1	1
Número de Bombas Grupo Frio	unid	1	1		1	1		1	1	
Bombas Comprometidas		1	1		1	1		1	1	
Potência motor	kW	5,5	2,2		3	3		7,5	1,5	
Possibilidade de Parada		1	1		1	1		1	1	
Potência Possível de Parada										

\* Bombas de retorno instaladas nas retíficas. Verificar com a linha.

\*1 Para períodos de paradas inferiores a 24 horas, manter 1 bomba ligada para evitar o aumento de consumo de diatomita.

**Bombas de retorno** - as bombas reservas não estão instaladas no sistema.

**Paradas para TPM** - podemos operar com um número reduzido de bombas para as centrais C1(2), C3 (1), C4(1) e C5 (1) se não houver problema em trabalharmos com a pressão inferior a 3,0 bar.

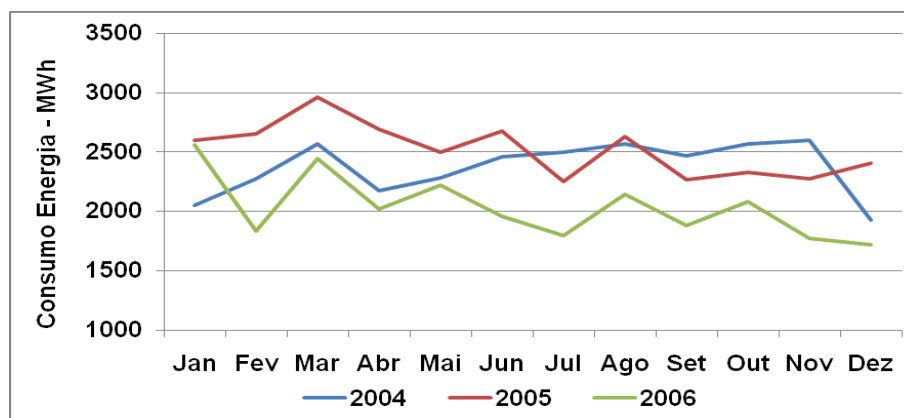
Fonte: os autores (2006)

### Quadro 2 – Análise de equipamentos possíveis de serem desligados durante finais de semana.

## 4 Resultado e Discussões

A maior ação desenvolvida pelo grupo de estudo foi a ruptura e a quebra de paradigmas, que inicialmente eram utilizados como argumento para a não realização de ações de melhoria e economia de energia elétrica. Entre elas a suspeita de dano aos equipamentos eletroeletrônicos por motivo de desligamento. Através da elaboração do mapa de desligamento – Figura 5, associado ao Quadro 2 foi possível definir ações que culminassem na redução de consumo de energia elétrica conforme o que havia sido planejado inicialmente. No sentido de manter as atividades previstas nesse trabalho, as ações foram desdobradas até o nível operacional para que os mesmos desenvolvessem essas novas ações no cotidiano e consigam constantemente ligar ou desligar os equipamentos avaliados.

No Gráfico 2, observa-se o acompanhamento dos indicadores de consumo geral da fábrica no período entre os anos de 2004 até 2006. Nele evidencia-se a redução de consumo de energia durante o ano de 2006 que enfatiza o desenvolvimento e a implementação de ações no sentido de proporcionar a melhoria contínua no ambiente industrial.



Fonte: os autores (2006)

Gráfico 2: Comparativo entre medições dos anos de 2004 até ano 2006

## 5 Conclusões

Através do estabelecimento de uma diretriz específica, voltada ao acompanhamento de indicadores ambientais (redução do consumo de energia elétrica), foi estruturado um grupo de trabalho para atuar sobre este assunto. As dificuldades encontradas inicialmente estavam relacionadas fortemente a quebra de paradigmas por parte da equipe técnica envolvida. A partir do momento que foi definida uma metodologia de trabalho clara, priorizando ações de acordo com os setores que mais consumiam o recurso em análise, associada a testes realizados nos diversos tipos de equipamentos e avaliação de riscos, foi possível identificar os principais pontos de melhoria do processo.

Os principais resultados obtidos foram: aplicação de ações de forma abrangente em toda a fábrica, redução significativa dos pontos de iluminação (principalmente aqueles existentes sobre equipamentos), elaboração de documentos que permitiram fazer o start/stop das instalações de forma que não houvesse prejuízo para a instalação, aprendizagem de uma metodologia voltada à otimização de processos, capitalização de conceitos aplicados neste trabalho e redução significativa no consumo de energia elétrica no perímetro fabril.

## Referências

- ABNT Associação Brasileira Normas Técnicas, NBR 05413, Iluminância de Interiores, 1992.
- BURANI, Geraldo F.; ROCHA, Cidar R. O.; KANAYAMA, Paulo H.; UDAETA, Miguel E. M.; AFFONSO, Octavio F. - Uso racional econômico da energia na Indústria Metalúrgica, Escola Politécnica USP(EPUSP) / Instituto Eletrotécnica e Energia USP (IEE-USP), 2006;
- GOLDEMBERG, José and LUCON, O. - Energia e Meio Ambiente no Brasil. Estudos Avançados, USP, v. 21, p. 07-20, 2007
- PASCHOALINO, Fernanda Fidelis e LOUREIRO, Tabita Yaling Cheng – Previsão de demanda de energia elétrica no Brasil com base em redes neurais de Elman, Niterói, RJ, 2007.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética, Consumo de energia elétrica no Brasil e sua Distribuição no setor industrial. Disponível em : <http://www.ben.epe.gov.br>, 2009