

21 a 25 de Agosto de 2006
Belo Horizonte - MG



Eficientização Energética em Indústria Metalúrgica e de Fundição

Marcos Antonio Danella
Elektro – Eletricidade e Serviços S/A
mdanella@elektro.com.br

Evandro Gustavo Romanini
Elektro – Eletricidade e Serviços S/A

Jose Carlos Adorno
Mahle Metal Leve PL2/3

Paulo de Tarso Bressan
Mahle Metal Leve PL2/3

Julian Villelia Padilla
Enerenge

RESUMO

Este trabalho visa apresentar um caso real de eficiência energética, implantado nas instalações industriais da Mahle MMG – Mogi Guaçu – SP, com recursos da Elektro e com a assessoria técnica da Enerenge. Este projeto foi ganhador do primeiro lugar no Premio Estadual Fiesp de Eficiência Energética de 2.004.

A empresa Mahle MMG é fabricante de componentes para motores (pistões, anéis, bronzinas, camisas, pinos e bielas) e possui em seu parque industrial uma fundição de ferro e grande quantidade de máquinas operatrizes automatizadas que são responsáveis pela produção dos componentes conforme as rigorosas especificações da industria automotiva.

A rede elétrica da Mahle MMG é de grande porte sendo alimentada em 138 kV e possui uma rede de distribuição em 13,8 kV que alimentam praticamente 38 MVA em transformadores distribuídos em 24 subestações unitárias. O setor de fundição é responsável por 72% do consumo de energia desta unidade.

O projeto consistiu na implantação de um sistema de gerenciamento de energia que proporcionou uma economia de 62 MWh/mês, na correção dos reativos excedentes que reduziram a cobrança mensal de reativos excedentes em 596 kW na ponta, 224 kW fora de ponta, 35,9 MWh na ponta e 132,5 MWh fora de ponta, e na substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares que proporcionaram uma economia de 10 MWh/mês.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência Energética, Instalações Industriais, Gerenciamento e controle de energia.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve tecnicamente a implantação realizada e os benefícios alcançados e é composto dos seguintes tópicos:

- Descrição das implantações realizadas.
- Metodologias para apuração de economias adotadas.
- Resultados e benefícios alcançados.
- Conclusões.

2. DESCRIÇÃO DAS IMPLANTAÇÕES REALIZADAS.

2.1. Sistema de Gerenciamento de energia.

O sistema é composto de dois equipamentos de controle e monitoramento e um concentrador de dados, instalados fisicamente na sala da manutenção da fundição da MAHLE MMG, um concentrador de dados, instalado no hub do escritório de Pinos, e 9 módulos de entradas de estado, instalados na subestação de 138 kV, interligados através de redes comunicação RS 485 e fibra ótica com os medidores e módulos de saídas para controle, distribuídos nas diversas subestações na fábrica.

A monitoração e programação do sistema são realizadas através de dois microcomputadores localizados na sala de supervisão da manutenção da fundição e usinagem, interligados na rede corporativa com possibilidade de acesso para outros computadores da empresa.

Todos os registros e medições podem ser acompanhados em tempo real para avaliações pontuais e o sistema disponibiliza para estudos mais abrangentes relatórios e gráficos em períodos de tempo determinados pelos usuários.

A composição básica do sistema com relação aos pontos de medição e saídas de controle está descrita a seguir:

Local 0: Subestação de 138 kV

72 entradas de estado para supervisão dos pontos de alarme dos painéis de comando e controle e monitoramento da linha de transmissão de entrada (1ou 2).

Local 1: Fornos de Fusão

10 Pontos de Medição (1 concessionária + 9 setoriais) e 16 saídas para controle de demanda e 16 saídas para controle do fator de potência dos fornos 4/5 e 5/6.

- Entrada de Energia: Elektro
- Forno 6 MW.
- Forno 1.
- Forno 2.
- Forno 3.
- Forno 4/5.
- Forno 5/6
- Forno 7
- Forno 8
- Forno 9

Local 2: Fundição Ferro / Utilidades

Pontos de Medição: 4 setoriais

- Painel PG – BT1
- Painel PG – BT2
- Painel PG – BT3

- Novo Painel do transformador de 1,5 MVA

Local 3: Compressores de Ar

Ponto de Medição: 1 setorial
- Painel dos Compressores BT

Local 4: Usinagem Porta Anel

Ponto de Medição: 1 setorial
- Painel PN-BT-20
-

Local 5: Usinagem Camisas I

Pontos de Medição: 2 setoriais
- Painel Usinagem de Camisas
- Painel de Usinagem de Camisas Novo

Local 6: Prédios Administrativos

Ponto de Medição: 1 setorial
- Alimentador MT

Local 7: Usinagem de Camisas CDC

Ponto de Medição: 1 setorial
- Alimentador MT

Local 8: Usinagem de Pinos

Pontos de Medição: 4 setoriais
- Alimentador MT – Transformador 750 kVA
- Alimentador MT – Transformador 750 kVA
- Alimentador MT – Transformador 1.500 kVA
- Alimentador MT – Transformador 750 kVA

Local 9: Usinagem de Eixos de Comando

Ponto de Medição: 1 setorial.
- Alimentador MT.

Este sistema pode ser considerado de grande porte com medição de 24 setores, 32 saídas para controle de demanda e fator de potência e 72 entradas digitais, demandando alguns quilômetros de redes de comunicação RS-485 e fibra ótica.

A implantação do sistema requereu substituição de medidores eletromecânicos por medidores eletrônicos com recursos de comunicação, instalação de novos medidores e respectivos acessórios (TC's, TP's e bornes terminais), grande quantidade de horas de trabalho para instalação da infraestrutura, verificações, ajustes e programações.

O monitoramento centralizado permite o rateio da conta de eletricidade e apropriação dos consumos para os diferentes setores produtivos de forma automática, simplificando as rotinas operacionais e proporcionando maior rapidez e qualidade no fechamento dos relatórios mensais de controle.

Foram desenvolvidas 3 telas personalizadas com o diagrama unifilar da MAHLE MMG que apresenta em tempo real as demandas e fator de potência de cada transformador e entrada Elektro, além de indicar cada evento de alarme da subestação de 138 kV.

A MAHLE MMG dispõe agora de uma poderosa ferramenta para o gerenciamento da energia elétrica que proporciona os seguintes recursos:

- Monitoramento em tempo real do uso de eletricidade da entrada de energia e dos principais consumidores de eletricidade.
- Controle da demanda com avançado algoritmo de controle para atuação em todos os fornos de fusão.
- Controle do fator de potência individual dos fornos 4/5 e 5/6 integrado com o controlador lógico programável existente em cada forno.
- Rateio automatizado da conta de eletricidade por departamentos produtivos.
- Registro do perfil de demanda dos consumidores para análise das possibilidades de otimização do consumo de energia em função das necessidades de processo.
- Geração de relatórios e gráficos do uso da eletricidade da instalação.

O funcionamento do sistema está atendendo as expectativas dos profissionais do setor e os problemas verificados na fase inicial do funcionamento podem ser considerados normais para sistemas deste porte. Os serviços de instalação foram demorados porque esta unidade trabalha 24 horas/dia e alguns setores 7 dias/semana, e para não comprometer a produção, as intervenções na rede elétrica tiveram que ser realizadas nas poucas paradas gerais da fábrica.

Foto 1 – Tela com o diagrama unifilar

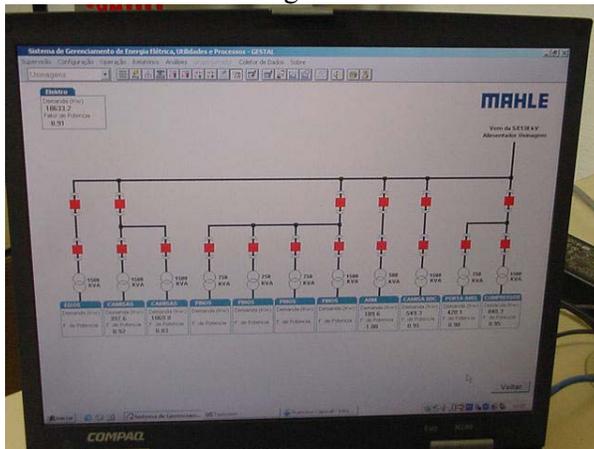


Foto 2 – Gerenciador de energia.



2.2 – Capacitores fixos distribuídos na rede elétrica

Para melhorar o fator de potência da rede elétrica, após a realização de medições e avaliações técnicas na instalação, foi desenvolvido o projeto de correção dentro das melhores práticas da engenharia e em atendimento às normas técnicas e de segurança.

Foram instalados capacitores novos nos locais abaixo relacionados:

Local	Transformador kVA	Tensão Nominal	Capacitor kVAR
Fundição	1.000	380	100
Fundição	1.000	380	100
Fundição	500	220	50
Camisas I	1.500	380	100
		380	50
Pinos	1.500	240	50
		240	50
		240	50
Pinos	750	380	100
Pinos	750	380	100
Pinos	750	380	100
Camisas CDC	1.500	380	100
		380	50
Compressor	1.500	380	100
		380	100
		380	100
Porta Anel	750	380	40
		380	40
Eixos	1.500	380	100
		380	50
Administração	500	220	50
Soma	13.500		1.580

Considerando que a rede elétrica da MAHLE MMG apresenta elevado nível de harmônicas (deformações da forma de onda senoidal em função dos fornos elétricos tiristorizados e máquinas produtivas com acionamentos CC e inversores de frequência) a solução técnica adotada visou manter a qualidade de energia elétrica da Mahle MMG o que pôde ser comprovado na prática, pois apesar dos harmônicos existentes que são amplificados pelos capacitores instalados, não foram verificados problemas no funcionamento de máquinas de produção com comandos eletrônicos e equipamentos mais sensíveis.

Convém destacar que o montante de capacitores fixos corresponde ao limite máximo de capacitores permitidos em cada transformador sem comprometer a qualidade de energia.

Após a instalação foram verificados alguns problemas de queima de capacitores provocados por mau contato na fiação interna das células capacitivas que foram substituídos em garantia pelo fornecedor.



Fotos 3 e 4 - Capacitores

2.3 – Automação Capacitores Fornos 4/6.

Os fornos 4 a 6 são alimentados por dois conjuntos compostos cada um de:

- A) Transformador de 1.700 kVA – 13,8kV/1,1 kV
- B) Reator Monofásico de 1.076 kVA
- C) Painel de comando e controle
- D) Banco de Capacitores para simetria de fases
- E) Banco de Capacitores para compensação de reativos
- F) Contatores de comutação com resistência de amortecimento

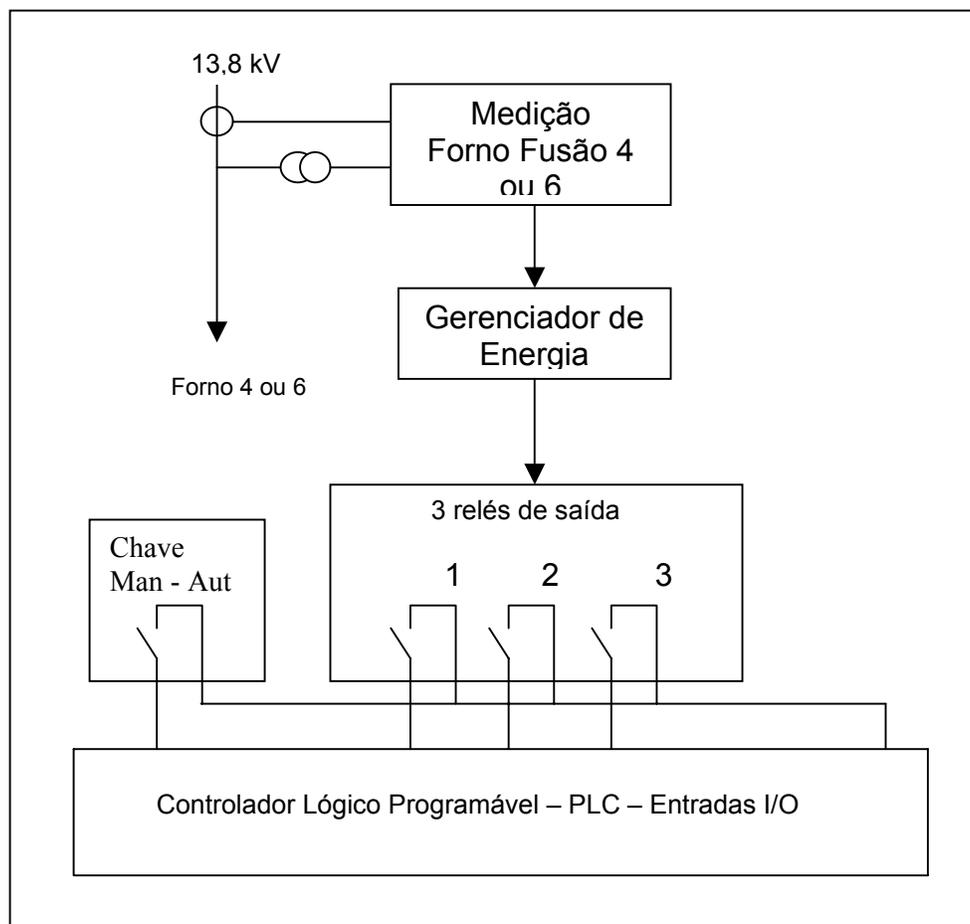
Os dois conjuntos de alimentação através de comutadores manuais podem alimentar os cadinhos dos fornos 4, 5 ou 6 conforme a necessidade.

Existem ao todo praticamente 3.000 kVAR em capacitores que estão a disposição dos operadores para equilibrar a corrente entre as fases e também para elevar o fator de potência do conjunto.

Na prática, em função das características da carga a ser fundida, da proporção entre material sólido e sucata e da proporção de material líquido existente no forno, são realizadas manualmente as regulagens da quantidade de capacitores a serem comutados.

Em função da característica elétrica da carga do forno que varia ao longo do tempo o controle manual não atende as condições necessárias para manter o fator de potência do forno elevado, comprometendo o fator de potência geral da MAHLE MMG.

Para permitir o controle automático do fator de potência dos fornos, o sistema de gerenciamento de energia, a partir da medição implantada em cada forno, realiza o chaveamento de contatos que foram interligados a cada controlador lógico programável conforme esquema abaixo válido para cada forno:



No frontal do painel da cada forno foi instalada uma chave comutadora de duas posições (manual / automático) que seleciona a forma de atuação do sistema, sendo que a posição manual mantém o comando original e a posição automática acrescenta o chaveamento automático dos capacitores de compensação independente dos operadores.

Foi implementada uma nova lógica de controle no PLC que proporcionou o acionamento automático dos capacitores, sem comprometer o equilíbrio das fases nem tampouco alterar as condições produtivas dos fornos.

Esta implementação foi realizada com sucesso e agora o fator de potência dos fornos 4 a 6 está mantido sempre elevado de forma automática, contribuindo com a correção do fator de potência geral da MAHLE MMG quando os fornos estão em operação.

A rede elétrica da Mahle MMG após a época em que foi realizado o estudo de correção do fator de potência (junho/02) teve os seguintes acréscimos importantes de equipamentos, que geram novos reativos indutivos na instalação:

- Um transformador de 10/12 MVA na subestação de 138 kV.
- Um regulador de tensão de 7 MVA na rede de distribuição de 13,8 kV.
- Um transformador de 1MVA na fundição para atender novos equipamentos.

A nova composição de cargas indutivas e associado a um aumento do consumo de energia decorrente de acréscimos de equipamentos produtivos requer complementação de reativos capacitivos que não são mais suportados pela rede de BT sob risco de iniciarem problemas relacionados com a qualidade de energia.

Desta forma resta a alternativa técnica de serem adicionados capacitores em 13,8 kV, preferencialmente na subestação de 138 kV ou próximos ao barramento de distribuição de 13,8 kV existente na fábrica. Para este acréscimo deverá ser realizado um estudo de fluxo de harmônicos para evitar problemas com ressonâncias ou mau funcionamento de equipamentos sensíveis (informática, equipamentos de laboratórios, máquinas CNC, etc) tanto para a fábrica MAHLE MMG com para a fábrica vizinha.

2.4 – Sistema de aquecimento solar

Na MAHLE MMG existem quatro vestiários que atendem as áreas industriais com as seguintes características:

Vestiário Central:	400 banhos/dia em três turnos – 64 chuveiros elétricos
Vestiário Fundição:	300 banhos/dia em três turnos – 24 chuveiros elétricos
Vestiário Eixos:	150 banhos/dia em três turnos – 24 chuveiros elétricos
Vestiário Porta Anel:	150 banhos/dia em três turnos – 16 chuveiros elétricos

A potência total em chuveiros elétricos é de 512 kW e o consumo de energia resultante corresponde a 10.000 kWh/mês, adotando um consumo por banho de 0,333 kWh.

Para substituir o funcionamento dos chuveiros elétricos foram implantados os seguintes sistemas de aquecimento solar:

Vestiário Central.

- 3 Reservatórios térmicos de alta pressão com capacidade de 2.000litros.
- 60 Placas coletoras solares com estrutura em alumínio e serpentina em cobre.
- 3 Aquecedores a gás de passagem com capacidade de 20 litros/minuto.
- 3 sistemas de bombeamento de água de 0,5 CV.

3 sistemas de controle e indicação de temperatura.
64 misturadores e registros de pressão.

Vestiário Fundação.

3 Reservatórios térmicos de alta pressão com capacidade de 2.000litros.
45 Placas coletoras solares com estrutura em alumínio e serpentina em cobre.
3 Aquecedores a gás de passagem com capacidade de 20 litros/minuto.
3 sistemas de bombeamento de água de 0,5 CV.
3 sistemas de controle e indicação de temperatura.
24 misturadores e registros de pressão.

Vestiário Eixos.

2 Reservatórios térmicos de alta pressão com capacidade de 2.000litros.
30 Placas coletoras solares com estrutura em alumínio e serpentina em cobre.
2 Aquecedores a gás de passagem com capacidade de 20 litros/minuto.
2 sistemas de bombeamento de água de 0,5 CV.
2 sistemas de controle e indicação de temperatura.
24 misturadores e registros de pressão.

Vestiário Porta Anel.

2 Reservatórios térmicos de alta pressão com capacidade de 2.000litros.
26 Placas coletoras solares com estrutura em alumínio e serpentina em cobre.
2 Aquecedores a gás de passagem com capacidade de 20 litros/minuto.
2 sistemas de bombeamento de água de 0,5 CV.
2 sistemas de controle e indicação de temperatura.
16 misturadores e registros de pressão.

Foto 5 – Tanques isolados



Foto 6 – Tanques isolados e aquecimento suplementar a gás



3. METODOLOGIAS PARA APURAÇÃO DAS ECONOMIAS.

3.1 - Sistema de gerenciamento de energia / Correção do fator de potência

Avaliação do fator de potência (energia reativa excedente).

Pela metodologia de cálculo estabelecida pelo ANEEL (resolução 456 de 26/11/00) o fator de potência horário abaixo de 0,92 indutivo e capacitivo resulta na cobrança de demandas e energias reativas excedentes, que no caso da MAHLE MMG no período anterior à implantação do projeto eram de:

Demanda reativa excedente ponta – RDRP (kW)	324
Demanda Reativa Excedente Fora de Ponta – RDRFP (kW)	122
Energia Reativa Excedente Ponta – RERP (kWh)	26.071
Energia Reativa Excedente Fora de Ponta – RERFP (kWh)	107.328

Em função do aumento de consumo resultante do aumento de produção e de equipamentos em operação, os parâmetros técnicos referenciais foram ajustados proporcionalmente para representar a nova realidade da MAHLE MMG.

Média de consumo anterior em kWh (jan/2000 a ago/2001)	5.639.188
Média de consumo atual em kWh (maio/2004 e junho/2004)	10.364.228
Índice de crescimento de consumo/produção	83,8%

Desta forma os novos parâmetros técnicos referenciais são os seguintes:

Demanda reativa excedente ponta – RDRP (kW)	596
Demanda Reativa Excedente Fora de Ponta – RDRFP (kW)	224
Energia Reativa Excedente Ponta – RERP (kWh)	47.918
Energia Reativa Excedente Fora de Ponta – RERFP (kWh)	197.269

As contas de eletricidade de maio e junho de 2.004 registraram os seguintes valores de reativos excedentes:

Parâmetro Técnico	Mai/04	Jun/04	Média
Demanda reativa excedente ponta - RDRP	0	0	0
Demanda Reativa Excedente Fora de Ponta - RDRFP	0	0	0
Energia Reativa Excedente Ponta - RERP	14.121	9.922	12.022
Energia Reativa Excedente Fora de Ponta - RERFP	74.752	54.752	64.752

Economias alcançadas:

APURAÇÃO DE ECONOMIA	Valores Físicos	Unidade
Demanda reativa excedente ponta - RDRP	596	kW
Demanda Reativa Excedente Fora de Ponta - RDRFP	224	kW
Energia Reativa Excedente Ponta - RERP	35.897	kWh
Energia Reativa Excedente Fora de Ponta - RERFP	132.517	kWh

3.2 – Sistema de aquecimento solar

Premissas de cálculo:

Quantidade de chuveiros	=	128
Potência unitária por chuveiro	=	4 kW
Demanda total em kW	=	512 kW

Quantidade de banhos mensais	=	30.000
Consumo energia por banho	=	5/60h x 4 kW = 0,3333 kWh
Consumo de energia mensal	=	10.000 kWh
Consumo de energia na ponta	=	2.444 kWh
Consumo de energia fora de ponta	=	7.556 kWh

A tabela abaixo apresenta as economias mensais alcançadas com a substituição dos chuveiros elétricos:

PARÂMETRO FÍSICO	VALOR
Demanda de ponta (kW)	512
Demanda fora de ponta (kW)	512
Consumo de ponta (kWh)	2.444
Consumo fora de ponta (kWh)	7.556

3.3 – Sistema de Gerenciamento de energia / gestão do uso de eletricidade

O sistema de gerenciamento de energia implantado proporciona informações reais e confiáveis do uso da eletricidade na MAHLE MMG para cada unidade de produção.

O processamento destas informações associadas com os volumes de produção permite estabelecer um banco de dados com os consumos específicos por setor e estas informações são o ponto de partida para a gestão do uso de eletricidade visando o uso mais racional de eletricidade.

Os profissionais da indústria acompanham mês a mês os consumos individualizados dos diferentes setores produtivos para o devido rateio de custos e acompanhamento dos consumos específicos.

Os valores de consumo específico antes da implementação estavam no seguinte patamar:

SETOR	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	UNIDADE
Fornos	0,8038	0,955	0,704	kWh/kg
Fundição	1,3166	2,055	0,909	kWh/pç
Porta Anel	0,1889	0,260	0,131	kWh/pç
Usinagem eixo	2,4010	8,139	1,580	kWh/pç
Usinagem Camisas	2,0458	3,642	1,273	kWh/pç
Usinagem Pinos	0,4255	0,672	0,262	kWh/pç

Após a implementação do gerenciador de energia e das novas metas energéticas, foi possível obter os seguintes índices de consumo específico:

SETOR	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	UNIDADE
Fornos	0,7989	0,949	0,698	kWh/kg
Fundição	1,3087	2,043	0,903	kWh/pç
Porta Anel	0,1876	0,258	0,130	kWh/pç
Usinagem eixo	2,3865	8,090	1,570	kWh/pç
Usinagem Camisas	2,0329	3,620	1,265	kWh/pç
Usinagem Pinos	0,4255	0,667	0,260	kWh/pç

A economia obtida com a instalação do gerenciador foi de aproximadamente 0,6% de redução no consumo de energia que corresponde a:

Média do consumo atual (jan/04 e fev/04) = 10.364.228 kWh / mês

Economia (0,6%) = 62.185 kWh / mês

4. RESULTADOS E BENEFÍCIOS ALCANÇADOS.

O projeto obteve uma economia de energia elétrica de 866,22 MWh / ano. Isso representa em relação ao mercado de vendas no segmento industrial da ELEKTRO (4.607 GWh / ano) um valor de 0,019 % ou atender durante um mês 6.015 residências, com consumo de 144 kWh/mês. O potencial de replicação previsto na área de concessão da ELEKTRO é de aproximadamente 27 indústrias.

Além dos ganhos diretos com energia elétrica, outros benefícios foram auferidos:

- Para a ELEKTRO, melhor conhecimento do uso final do segmento industrial;
- Para a ELEKTRO, melhoria do relacionamento com o consumidor;
- Para a ELEKTRO, aumento de receita com a prestação do serviço, contribuindo para a modicidade tarifária por ser contabilizado no item “outras receitas”;
- Para a MAHLE, redução do consumo específico e das despesas operacionais da indústria;
- Para o Sistema Interligado, redução de investimentos na expansão do sistema elétrico, com benefícios para toda a sociedade.

5. CONCLUSÕES.

A instalação do gerenciador de energia setorizado foi um grande benefício para a indústria. Além do ganho com a redução da demanda e do consumo de energia, a solução implementou uma metodologia de metas através da mensuração do consumo específico.

A instalação dos bancos de capacitores fixos e a automação dos fornos reduziram em muito as multas por baixo fator de potência das instalações.

O sistema de aquecimento da água do banho melhorou a qualidade e a quantidade de água quente disponível para os funcionários. A economia de energia obtida representou uma redução percentual do consumo total da indústria de 0,7 %.

Estas ações de efficientização energética apresentaram um resultado muito favorável em relação ao investimento efetuado, ou seja, a relação custo benefício do projeto foi de 0,33. Verificou-se também que estas ações desenvolvidas são de difícil implementação pois tratam de grandes mudanças de infraestrutura sem a paralisação da produção ou em desligamentos programados da fábrica, mas teve um retorno significativo para a indústria com redução do custo unitário do produto.

Antes da execução do projeto, foi assinado um contrato de performance, onde o investimento inicial foi realizado totalmente pela ELEKTRO. As parcelas mensais de amortização do investimento estão sendo

cobradas pela ELEKTRO no valor igual ao benefício financeiro obtido com as economias de demanda e consumo. Após a amortização do capital, a indústria receberá integralmente o benefício da economia e os equipamentos adquiridos. Esta forma de contratação está dentro das regras da legislação pertinente.

Em relação ao meio ambiente, estas ações têm promovido a conscientização dos funcionários sobre o assunto e a replicação dessas ações também em suas residências, como é o caso do aquecimento solar para água de banho.