



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

**STC/ 08
17 à 22 de outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**SESSÃO TÉCNICA ESPECIAL
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (STC)**

**OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA CETREL:
DIAGNÓSTICO, IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE GANHOS**

George Alves Soares *
Marcio Americo
Alex Jean de Castro Mello

Marcio J.T.M. Pereira
Roberto W.L. Pereira
Ivo Ricardo Wanderley

Luiz Carlos Ribeiro

CEPEL

FURNAS

CETREL

RESUMO

Este artigo aborda o trabalho de otimização energética na CETREL, uma empresa de tratamento de efluentes industriais do Pólo Petroquímico de Camaçari. Esta empresa é reconhecida internacionalmente pela qualidade de seus serviços, sendo a primeira no mundo, em sua categoria, a receber a certificação ISO 14001. Em dezembro de 1996, FURNAS e CEPEL efetuaram o diagnóstico energético inicial que estimou um ganho potencial de cerca de 6,21%. A empresa diagnosticada entendendo a importância do trabalho, contratou FURNAS e CEPEL para a implementação das ações técnicas e educacionais, com a medição dos ganhos a serem obtidos. A otimização começou em maio de 1997 e deve se estender até meados de 1999. A otimização é composta de uma série de etapas, englobando especificações técnicas de equipamentos, memorial descritivo das alterações das instalações, avaliação das propostas de compra, comissionamento dos equipamentos, testes em equipamentos, implantação do plano educacional, entre outras. Uma das inovações deste trabalho foi a metodologia de avaliação de resultados. Esta metodologia utiliza figuras de mérito do desempenho para obter os ganhos de energia com a implementação das ações. A primeira avaliação dos ganhos obtidos indicou uma redução de consumo de 10,85%. A economia nos gastos com eletricidade propiciou uma amortização de 43,07% do capital investido, apontando para um tempo de retorno do investimento de cerca de 14 meses. Este trabalho ganhou o prêmio "TOP ECOLOGIA 1997" conferido pela Associação de Dirigentes de Vendas e Marketing do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE

Conservação de Energia - Otimização Energética - Indústria - Economia de Energia

1.0 - INTRODUÇÃO

CEPEL e FURNAS vêm se dedicando ao desenvolvimento de uma série de ações que promovam o combate ao desperdício nos setores residencial, comercial e industrial. Como o setor industrial brasileiro é responsável por cerca de 50% do consumo total de energia elétrica do país, diversas ações foram realizadas neste setor. Entre estas, destacam-se os diagnósticos e as otimizações energéticas que se mostram bastante eficazes.

Os diagnósticos visam a identificação de possíveis ganhos de economia de energia e geram como produto uma série de recomendações com os seus ganhos financeiros associados. A otimização energética aprofunda os diagnósticos, validando as ações recomendadas, implementando-as e acompanhando os seus ganhos. Além disto, em alguns casos, campanhas de conscientização com os funcionários são planejadas e realizadas com o intuito da conscientização dos empregados, permitindo a manutenção da operação eficiente do sistema.

Esse artigo apresenta todas as etapas da otimização energética realizada. A CETREL é uma empresa de proteção ambiental localizada no Pólo Petroquímico de Camaçari - Bahia. Sua função principal é tratar os efluentes e resíduos gerados pelas indústrias do Pólo, sendo que hoje a empresa foi assumindo novas funções, como processamento e disposição final de resíduos sólidos perigosos; possui uma unidade de incineração de resíduos líquidos; opera um sistema

de disposição oceânica (composto por um emissário terrestre e um emissário submarino); e é responsável pelas atividades de monitoramento ambiental do Pólo e toda sua área de influência. A CETREL é reconhecida internacionalmente pela qualidade de seus serviços, possuindo certificação pela BS 7750 (norma britânica) e pela ISO 14001, tendo sido a primeira no mundo na área de tratamento de efluentes e resíduos industriais a obter a certificação ambiental.

2.0 - ETAPAS DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

O trabalho de otimização energética foi desenvolvido na CETREL seguindo as seguintes etapas:

- ✓ Diagnóstico Energético
- ✓ Implementação das Medidas
- ✓ Medição dos Ganhos e Acompanhamento

2.1 - Diagnóstico energético

A seguir é apresentada a metodologia usada no diagnóstico energético, bem como os resultados alcançados.

2.1.1 - Parâmetros usados na análise

O diagnóstico energético foi subdividido em cinco sistemas, a saber, sistema de iluminação, motores elétricos, transformadores, ciclo de operação e análise tarifária. A análise dos sistemas foi realizada usando os seguintes parâmetros básicos, descritos a seguir:

Sistema de iluminação - O sistema de iluminação instalado apresentava um grande número de equipamentos de baixa eficiência do ponto de vista energético, tais como: reatores eletromagnéticos, lâmpadas incandescentes, mistas, fluorescentes de 20 e 40 W, e de vapor de mercúrio, luminárias não reflexivas com difusores ou aletas. Os equipamentos de maior eficiência sugeridos para a substituição foram os seguintes: reatores eletrônicos, lâmpadas fluorescentes compactas, fluorescentes econômicas, de vapor de sódio, luminárias reflexivas. Além da troca de equipamentos, recomendou-se a pintura de tetos e paredes com cores claras, que pode proporcionar um ganho de até 10% no índice de iluminamento do local.

Motores Elétricos - Os motores elétricos instalados na planta eram na sua maioria do tipo de indução trifásico padrão. Esses motores geralmente apresentam rendimentos da ordem de 87%, sendo que nos de menores potência, esse rendimento pode atingir valores bem inferiores.

Esses motores foram analisados de várias formas:

✓ Quanto ao seu dimensionamento - Foram realizadas medições de tensão, corrente, potência e velocidade de cada motor. Com esses parâmetros foi possível avaliar qual os níveis de carga. Motores que funcionam com baixo carregamento apresentam um rendimento muito abaixo do nominal.

✓ Quanto ao método de partida - Foi verificada a possibilidade de alguns motores que acionam carga centrífugas operarem continuamente com o tap reduzido do autotransformador de partida. Essa medida proporcionaria uma economia de energia sem a necessidade de investimento adicional. Foi estudada também a viabilidade de uso de soft-starter para reduzir a corrente de partidas de alguns motores.

✓ Quanto ao acoplamento - O uso de acoplamentos mais eficientes, tais como correias síncronas e engrenagens helicoidais, poderiam ser utilizados em substituição aos acoplamentos tradicionais, melhorando muito o desempenho do conjunto motor/carga.

✓ Possibilidade de troca por motores de alto rendimento - Foi estudada a possibilidade de troca dos motores padrão existentes por motores de alto rendimento, indicando para isso o investimento necessário e o respectivo prazo de retorno.

✓ Instalação de acionamentos eletrônicos - A instalação desse tipo de equipamento possibilita o controle de velocidade dos motores que acionam cargas centrífugas (bombas, ventiladores e compressores). Com isso, o controle de vazão por meio de válvula de estrangulamento pode ser substituído pelo controle de velocidade, eliminando-se também as perdas de energia na válvula.

Transformadores - Verificou-se a possibilidade de desligamento de transformadores operando com baixa carga, transferindo-a para outro transformador. A economia de energia é proveniente da eliminação das perdas a vazio do transformador a ser desligado. Além disso, existiu a possibilidade de eliminação de alguns contratos de fornecimento de energia elétrica mediante o desligamento definitivo de subestações inteiras.

Ciclo de Operação - Essa análise teve como objetivo verificar a possibilidade de alteração do horário de funcionamento de alguns equipamentos, tirando-os do horário de ponta, ou ainda utilizar geradores diesel já existentes em substituição ao sistema COELBA nesse mesmo período.

Análise Tarifária - Os contratos de fornecimento de energia elétrica foram analisados levando-se em conta todas as tarifas passíveis de serem aplicadas à empresa (azul, verde, convencional). Numa primeira etapa, foi considerada apenas o estado atual de operação. A etapa seguinte consistiu de novas simulações levando-se em

consideração as possíveis mudanças no regime de operação das unidades e as medidas de conservação de energia a serem implementadas.

2.1.2 - Análise técnica e econômica

Sistema de Iluminação - A potência total do sistema de iluminação era de 333 kW. Após a troca dos equipamentos, a potência instalada seria reduzida em 49%, representando uma economia de energia de 591 MWh/ano. O retorno de investimento para esse sistema fica próximo de 22 meses.

Motores Elétricos - Existem cerca de 200 motores instalados na planta, sendo a grande maioria do tipo padrão. A análise da possibilidade de substituição dos motores foi realizada de duas maneiras. A primeira, chamada de troca imediata, significa a troca do equipamento em uso, mesmo em condições aceitáveis de operação, por outro melhor dimensionado e/ou mais eficiente. Nesse caso, o investimento necessário seria equivalente ao preço total do motor de alto rendimento. Dentro dessa ótica, apenas 59 motores apresentaram vantagens na troca por motores de alto rendimento. Os resultados das simulações indicaram uma economia de energia de aproximadamente 650 MWh/ano e um investimento de R\$ 163.000,00, com tempo de retorno médio de 36 meses.

O termo substituição gradual foi usado para a segunda forma de análise, empregado quando da necessidade de reposição de equipamentos obsoletos, ou seja, que forem queimando ou que estejam no final da sua vida útil. Nesse caso, o investimento necessário representa apenas a diferença de preço entre o motor padrão e o de alto rendimento. O número de motores que apresentou vantagens nesse caso chegou a 131. A economia de energia possível atinge o valor de 1.290 MWh/ano com um investimento de R\$ 140.000,00, com prazo médio de retorno de aproximadamente 15 meses.

Em relação ao uso de acionamento eletrônico, apenas 2(dois) motores apresentaram vantagens econômicas para a sua instalação. Apesar do número pequeno de pontos de instalação, o acionamento eletrônico proporcionou uma economia de energia significativa em relação as outras opções sugeridas, chegando a 956 MWh/ano, com investimento de R\$ 80.000,00 e o tempo de retorno de 12 meses.

Transformadores - Foi verificada a possibilidade de transferência de carga de um transformador de 2 MVA, resultando no seu desligamento. Essa medida possibilitaria uma economia de energia da ordem de 34.560 kWh/ano, o que corresponde a uma redução de R\$ 2.900,00 por ano. O desligamento de uma subestação inteira também seria possível, transferindo

sua carga para a subestação principal, a qual apresentava uma folga no seu carregamento. Essa folga aconteceu devido à decisão de não realização das expansões previstas. Essa medida pode fornecer uma economia de R\$ 3.400,00 por ano, pelo fato de que a subestação a ser desligada é atendida num nível de tensão de 13,8 kV, enquanto que a subestação principal é atendida em 34,5 kV. O custo da energia em cada nível de tensão é de R\$ 36,72/MWh e R\$ 15,352/MWh, respectivamente.

Ciclo de Operação - Através da análise de dados históricos da operação, foi possível traçar o perfil de funcionamento de uma unidade da empresa. Esse perfil mostrou que as bombas permaneciam ligadas por 1 hora e meia em média durante o horário de ponta. A sugestão da alteração do ciclo de operação dessa unidade possibilitaria o seu desligamento nesse período, o que proporciona uma economia de R\$ 78.000,00 por ano.

Outra unidade já possui um grupo gerador diesel instalado, equipamento esse não utilizado pela operação. A simples mudança no procedimento operacional, permitindo o seu funcionamento no horário de ponta, possibilitaria uma economia de R\$ 6.900,00 por ano.

Análise Tarifária - Após a implementação de todas as medidas de economia de energia sugeridas e confirmados os índices encontrados nas simulações, será possível alterar a reestruturação tarifária atual, recontratando demanda e/ou mudando o tipo de tarifa horo-sazonal. Essas mudanças poderão proporcionar uma redução nos custos com energia elétrica da ordem de R\$ 516.000,00 por ano. Em algumas unidades da empresa, a redução nos custos de energia elétrica pode chegar a 40%.

2.1.3 - Conclusões do diagnóstico energético

O resultado do diagnóstico indicou que a economia de energia seria próxima a 3,03 GWh/ano, o que representa 6,21% do consumo total da empresa. O investimento total necessário é de R\$ 312.000,00, com um tempo médio de retorno de 12 meses.

A figura 1 mostra a contribuição de cada sistema na economia de energia total.

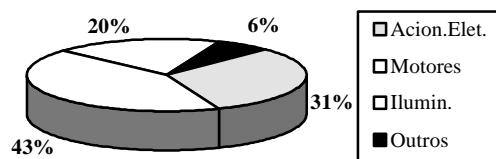


FIGURA 1 - CONTRIBUIÇÃO NA ECONOMIA DE ENERGIA

A figura 2 apresenta a contribuição de cada medida em termos de economia em reais.

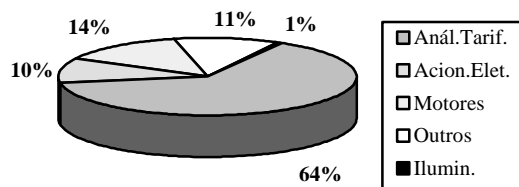


FIGURA 2 - CONTRIBUIÇÃO NA ECONOMIA EM REAIS

2.2 - Implementação das medidas

De posse dos resultados do diagnóstico energético, a CETREL decidiu implementar parte das medidas sugeridas. As etapas dessa implementação são descritas a seguir.

Monitoramento do estado atual - Consta do monitoramento remoto de alguns pontos previamente escolhidos com o objetivo de verificar ciclos de carga e coletar dados sobre o consumo atual para futura comparação com os parâmetros de desempenho após as ações de otimização.

Especificação dos equipamentos - Nessa etapa foram preparadas as especificações de todos os equipamentos eficientes que serão licitados, visando as substituições recomendadas no diagnóstico energético. Foram elaboradas três especificações distintas: sistema de iluminação, motores de alto rendimento e acionamentos eletrônicos. A grande dificuldade encontrada refere-se às especificações de alguns dos novos motores elétricos de alto rendimento. Alguns motores instalados são muito antigos e foram construídos em carcaça NEMA, diferente do padrão de carcaça ABNT atualmente em vigor. A troca desses motores antigos por motores de alto rendimento implicou em adaptações mecânicas de base, flange e acoplamento, tornando as especificações em questão mais complexas.

Memorial descritivo - Consistiu da elaboração de um memorial descritivo detalhando as alterações que foram implementadas nas instalações objeto do projeto de otimização, visando possibilitar a contratação de um projeto executivo de detalhamento da instalação de equipamentos.

Análise das propostas - Assessoramento no diligenciamento e na análise das propostas de fornecimento dos equipamentos para assegurar

soluções que atendiam aos melhores interesses da empresa.

Assessoramento técnico - Acompanhamento dos fornecimentos cobrindo a análise da documentação técnica dos fornecimentos, que visou garantir que os produtos a serem fornecidos satisfizessem aos requisitos estabelecidos nas especificações técnicas. Esta fase se estendeu até depois da fase de montagem com o acompanhamento de ensaios nas fábricas quanto ao desempenho esperado não foi alcançado. Este assessoramento garantiu que um dos motores de alto rendimento que apresentava alta corrente nominal, influenciando nos critérios de proteção, tivesse seu projeto modificado pelo fabricante como resultado das discussões e testes em campo.

Montagem - Acompanhamento da montagem de equipamentos para assegurar que a instalação dos mesmos fosse realizada de forma a garantir a qualidade dos serviços associados

Programa educacional - Teve como objetivo o desenvolvimento de uma campanha de conscientização visando o combate ao desperdício de energia elétrica, dirigida aos empregados e às comunidades sob influência das instalações da empresa.

2.3 - Medição dos ganhos e acompanhamento

A apuração dos resultados envolveu a determinação de figuras de mérito para os desempenhos energético e econômico-financeiro do projeto.

Para avaliação do desempenho energético das instalações serão computados os consumos específicos e incremental, além da economia de energia.

Para avaliação do desempenho econômico-financeiro do projeto serão calculadas as reduções de gastos com energia elétrica e redução dos custos de substituição, a relação economia/investimento, a taxa de retorno ajustada e o tempo descontado.

Para a determinação das figuras de mérito foram usados para cada unidade da CETREL os seguintes dados:

- ✓ Dados mensais de consumo de energia elétrica
- ✓ Dados mensais da produção
- ✓ Investimentos realizados em cada mês

2.3.1 - Consumo específico (e)

Trata-se de uma indicação instantânea do desempenho energético da instalação, não se prestando, portanto, para inferências abrangentes. Para o período durante o qual não foram promovidas alterações significativas nas práticas operacionais e na estrutura das instalações,

o consumo específico tenderá a se manter constante. A partir do instante em que se passou a adotar práticas operacionais mais racionais ou se introduzir equipamentos mais eficientes, o consumo específico tenderá a decrescer.

O consumo específico (e) é dado pela fórmula:

$$e = \frac{E}{P}$$

Onde :

E - consumo global de energia elétrica da unidade no período em análise

P - produção da unidade no período em análise

2.3.2 - Consumo incremental (ξ)

Faz-se o ajuste polinomial das curvas consumo x produção para cada unidade, obtendo-se as funções matemáticas que relacionam essas duas variáveis.

Derivando-se essas expressões, serão obtidos os consumos incrementais das áreas sob análise.

Esta figura de mérito indica o quanto se eleva o consumo de energia elétrica para uma unidade de aumento na produção. Comparando-se o consumo incremental ao longo do ano base (antes da otimização) com os anos seguintes, pode-se ter uma visão clara da tendência do consumo das instalações.

No período durante o qual não foram promovidas alterações significativas nas práticas operacionais e na estrutura das instalações, a curva de consumo x produção se apresentará como uma reta. O consumo incremental indicará a inclinação da reta, tendendo a se manter constante, e se confundirá com o consumo específico. A partir do instante em que se passou a adotar práticas operacionais mais racionais ou se introduziu equipamentos mais eficientes, o consumo incremental tenderá a decrescer.

2.3.3 - Economia de energia (DE)

A economia de energia mensal é calculada pela seguinte equação:

$$DE = (e_{ANO_BASE} - e_{AA}) \cdot P$$

Onde:

e_{ANO_BASE} - consumo específico do mês no ano base

e_{AA} - consumo específico do mês em análise

P - produção da unidade no período em análise

2.3.4 - Redução dos gastos com energia elétrica (DC)

Para se obter a redução dos gastos com energia elétrica foram calculadas as reduções mensais em cada uma das unidades sob avaliação (DC), as quais foram obtidas pelo produto da economia de energia pelo custo unitário da energia elétrica.

$$DC = DE \cdot t$$

Onde:

t - custo unitário da energia elétrica

2.3.5 - Redução dos custos de substituição ($DSubst$)

Com a introdução de equipamentos mais eficientes, haverá, além da redução do consumo, uma redução nos custos de substituição em função da maior vida útil desses equipamentos.

2.3.6 - Relação economia/investimento (REI)

Essa figura de mérito expressa a razão entre o valor presente da economia em custos futuros e o investimento inicial.

A REI é dada pela seguinte expressão:

$$REI = \left(\frac{DC + DSubst + DRes}{I} \right)$$

Onde:

DC - redução nos custos de energia elétrica

$DSubst$ - redução nos custos de substituição

$DRes$ - diferencial nos valores de alienação e resíduos

2.3.7 - Taxa interna de retorno ajustada ($TIRA$)

A taxa interna de retorno ajustada expressa a porcentagem do investimento que retornará anualmente, considerando que as economias serão reinvestidas até o final do período de estudo à mesma taxa - d - definida para os ajustamentos e descontos dos valores monetários do projeto.

$$TIRA = (1 + d) \cdot REI^{1/n} - 1$$

2.3.8 - Tempo de retorno descontado (TRD)

O tempo de retorno simples (payback simples) não é uma figura de mérito consistente com a análise de custos de vida útil porque ignora todos os custos e economias que ocorrerão após o tempo de retorno ter sido atingido.

Entretanto, será computado o tempo de retorno descontado (*TRD*) que é uma medida de desempenho mais aceitável que o tempo de retorno simples, porque considera a influência do tempo no valor do dinheiro. O tempo de retorno descontado é aquele que satisfaz a seguinte equação:

$$\sum_{t=1}^{TRD} \frac{DC_t + DSubst_t + DRes_t}{(1+d)^t} \geq I$$

3.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Serão apresentados a seguir os resultados relativos ao período de janeiro a junho de 1998. O custo da energia elétrica considerado na análise inclui todas as variáveis de consumo tarifadas pela concessionária, e exclui serviços eventuais e convênio de iluminação pública com a prefeitura.

Foram objeto da apuração de resultados 2(duas) unidades principais da planta industrial da CETREL. Os resultados principais são apresentados a seguir:

Estação de tratamento de efluentes (ETE)

- ✓ Economia de energia = 2.647.083 kWh (10,85%)
- ✓ Economia em reais = R\$ 177.240,85

Unidade de incineração

- ✓ Economia de energia = 109.411 kWh (9,67%)
- ✓ Economia em reais = R\$ 9.415,47

Investimento

- ✓ Total investido = R\$ 411.497,26

Devido às incertezas envolvendo a apuração da redução nos gastos na Unidade de Incineração, principalmente por problemas operacionais ocorridos durante o período em questão, a economia de R\$ 9.415,47 desta unidade não será considerada no cálculo da recuperação do investimento.

Calculados os valores presentes dos investimentos realizados e a economia apurada na ETE (valores mostrados acima), conclui-se que foi atingida, no período de jan-jun 98, uma amortização de 43,07%, projetando-se para 14 meses o retorno do investimento.

A partir desses resultados apurados, verifica-se que:

- ✓ O consumo incremental aponta para um aprimoramento no desempenho energético da planta industrial da CETREL.
- ✓ A redução nos gastos com energia elétrica supera o que seria esperado para o período sob observação, tendo em vista que ainda não foram instalados todos os equipamentos que integram o projeto de conservação de energia.

4.0 – CONCLUSÕES

A realização deste projeto foi importante na medida que houve a possibilidade de se fazer um projeto completo desde o diagnóstico até a efetiva avaliação dos ganhos obtidos. No decorrer das atividades, uma série de outros aspectos técnicos como normas, metodologias de dimensionamento e de avaliação de ganhos foi discutida e aperfeiçoada. Além disto, o trabalho com a vertente humana conduzido por FURNAS levou a uma integração maior entre os empregados em torno de um tema que a princípio parece somente técnico, mas, que na realidade, permeia à melhoria da qualidade de vida quanto se relaciona às ações ao uso eficiente dos recursos naturais.

Os ganhos de economia de energia obtidos ratificam a política do setor industrial do PROCEL de incentivar somente diagnósticos que tenham possibilidade de serem implementados.

5.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Wandelely, Ivo R. e outros. Relatórios de Acompanhamento dos Resultados – FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. – AGOSTO – 1998.
- (2) Américo, M., Soares G., Perreira, M., Perreira, R. e Wanderley I. . Relatórios técnicos emitidos durante o projeto em 1997 e 1998.