



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE-17
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XIV
GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCE**

SOFTWARE DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

**F.P.D. Perrone* - Eletrobrás/Procel R.P. Tabosa - Eletrobrás/Procel M.Q. Lima - Eletrobrás/Procel
Jamil Haddad - UNIFEI Germano Lambert Torres - UNIFEI Alexandre Rasi Aoki - UNIFEI
Carlos H. V. de Moraes - UNIFEI Roberto Akira Yamachita - UNIFEI**

RESUMO

Este trabalho apresenta um software desenvolvido como ferramenta computacional modular para utilização em diagnósticos energéticos em instalações dos setores comercial e industrial. O aplicativo foi desenvolvido a partir da experiência adquirida pela Eletrobrás/PROCEL com o software MARK IV. Este novo software possui entre suas principais características uma interface gráfica compatível com o ambiente Windows, a incorporação de recursos de auto-instrução para o usuário e uma simplificação dos procedimentos operacionais de entrada e análise de dados.

PALAVRAS-CHAVE

Conservação de Energia, Eficiência Energética, Otimização Energética, Diagnóstico Energético, Software de Otimização Energética.

1.0 - HISTÓRICO

Em 1985, através do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, a Eletrobrás passou a incentivar as ações de conservação de energia elétrica em âmbito nacional, originando o Programa de Otimização Energética do PROCEL, entre cujos objetivos iniciais estavam os de priorizar a elaboração de Estudos de Otimização Energética individual e setorial, a partir de um software específico, capaz de analisar os dados coletados através dos diagnósticos energéticos.

Tendo em vista o aprimoramento do projeto e a necessidade de dispor-se de uma ferramenta

computacional que agilizasse e padronizasse a realização de diagnósticos energéticos em instalações industriais foi desenvolvido o software que ficou conhecido por MARK IV.

Tal aplicativo foi desenvolvido em linguagem Cliper 5.1 em ambiente DOS, o que estava inviabilizando seu uso principalmente, pelo alto grau de defasagem tecnológica em termos de funcionalidades além da obsolescência em relação à plataformas computacionais. Buscando atender à necessidade dos diversos usuários de disporem de uma ferramenta computacional atualizada, é que este novo aplicativo foi desenvolvido.

2.0 - METAS E UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE

As principais metas almeçadas com o desenvolvimento deste novo software são:

- Oferecer ao usuário uma ferramenta ágil e de uso fácil para análise e diagnóstico energético;
- Abranger um espectro amplo de abordagens de otimização e análise energética;
- Ampliar o número de usuários das ferramentas de análise e diagnóstico energético;
- Divulgar e popularizar o conhecimento a respeito da análise e diagnóstico energético.

O aplicativo é uma ferramenta de diagnóstico energético em que o usuário transfere ao programa informações sobre uma instalação elétrica e após analisa os dados fornecendo como resultado um relatório com o consumo de energia e medidas de conservação de energia a serem tomadas.

O software apresenta uma característica modular e composto dos seguintes módulos:

* Avenida Marechal Floriano, 19 – 3º andar - Centro - CEP 20080-003 – Rio de Janeiro - RJ - BRASIL
Tel.: (021) 2514-5009 - Fax: (021) 2514-5553 E-MAIL: perrone@eletrobras.gov.br

- Principal;
- Análise de Contas de Energia;
- Análise Econômica;
- Ar Condicionado Central;
- Ar Condicionado de Janela;
- Caldeiras;
- Cogeração;
- Condensadores a Água;
- Fornos e Estufas;
- Iluminação;
- Motores;
- Quadros de Distribuição;
- Refrigeração;
- Transformadores;
- Tubulações.

O módulo Principal é um ambiente do tipo Explorador/Gerenciador de Projetos, utilizando interface do tipo MDI (*Multiple Document Interface*) do Windows 95. Esse módulo Principal é ainda acompanhado de um banco de dados Microsoft Access, que contém todas as informações utilizadas por todos os módulos, tais como tabelas de fornecedores, equipamentos, preços, índices, etc.

Cada módulo do software opera sobre uma tabela própria de um banco de dados. Esta tabela do banco de dados Microsoft Access contém os dados adquiridos neste módulo, bem como os resultados obtidos nas análises.

O Formulário Principal é dividido em cinco partes:

- Área de Trabalho;
- Explorador/Gerenciador de Projetos;
- Barra de Ferramentas;
- Help Online;
- Menu Principal.

A área de trabalho é utilizada pelo programa para abrir todos os módulos e demais interfaces de aquisição de dados.

O Explorador/Gerenciador de Projetos funciona exatamente como o Windows Explorer permitindo que o usuário possa visualizar seus arquivos de projeto, copiar, colar, excluir, etc., seus itens dos módulos e até da empresa. A área de Ajuda On-line foi desenvolvida para ajudar o usuário com dicas e lembretes importantes no preenchimento dos dados da empresa. Pode ser desativada através do Menu "Opções" do Menu Principal.

O Menu Principal é composto por três menus:

- Arquivo;
- Opções;
- Ajuda.

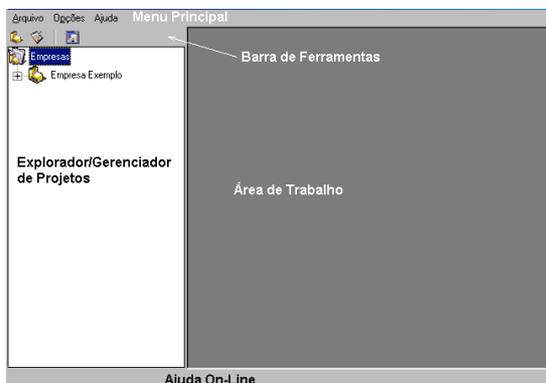


FIGURA I - TELA DO FORMULARIO PRINCIPAL

O menu Arquivo tem dentro dele a opção: "Sair" que fecha o programa.

O menu Opções tem dentro dele as opções: "Abertura" que ativa e desativa esse recurso; "Ajuda On-line" que ativa e desativa esse recurso.

O menu Ajuda tem dentro dele as opções: "Conteúdo" que abre o conteúdo da ajuda; "Sobre" que abre a janela sobre do programa.



FIGURA II - TELA DO MENU PRINCIPAL

A Barra de Ferramentas contém três botões:

- Projetos;
- Simulações;
- Tabelas.

O botão "Projetos" abre o ambiente de exploração/gerenciamento de projetos.

O botão "Simulação" abre o ambiente de simulações de projetos. O ambiente de simulações serve para o usuário simular diversas situações em sua empresa sem correr o risco de perder os dados verdadeiros.

O botão "Tabelas" abre o ambiente de edição das tabelas auxiliares do programa. O ambiente de edição das tabelas auxiliares permite que o usuário cadastre dados que são utilizados nos diversos módulos de acordo com o seu caso específico.

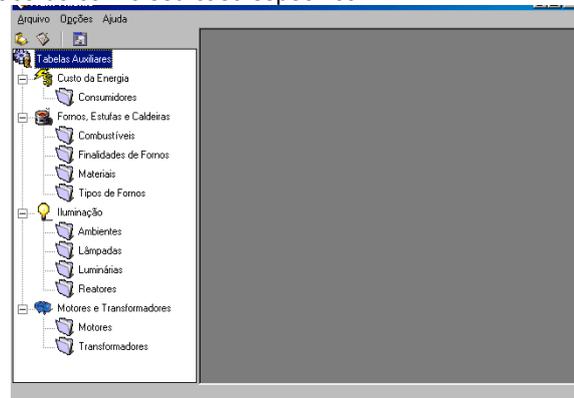


FIGURA III - TELA DO AMBIENTE DE EDIÇÃO DAS TABELAS

O ambiente de exploração/gerenciamento de projeto opera exatamente igual ao Windows Explorer, quando se quer abrir algum item deve se usar o duplo clique, e quando se deseja ver as ações e propriedades de um item, clica-se com o botão direito.

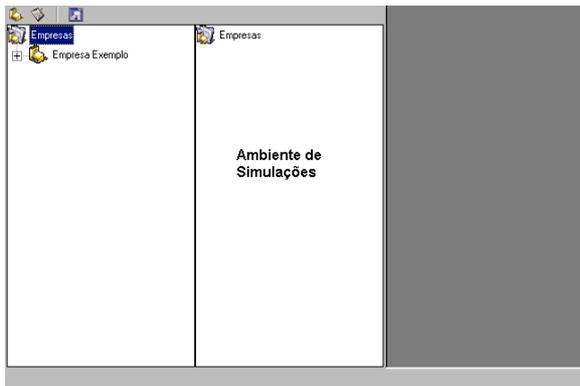


FIGURA IV - TELA DO AMBIENTE DE SIMULAÇÕES

O ambiente de exploração/gerenciamento de projeto opera exatamente igual ao Windows Explorer, quando se quer abrir algum item deve se usar o duplo clique, e quando se deseja ver as ações e propriedades de um item, clica-se com o botão direito.

Clicando com o botão direito em “Empresas”, tem-se:

- Adicionar Nova Empresa: adiciona mais uma empresa na área de exploração;
- Colar: cola uma empresa ou item previamente copiado na empresa selecionada;
- Expandir: expandi todos os nós do ambiente de exploração;
- Agrupar: agrupa todos os nós do ambiente de exploração.

Clicando com o botão direito em “Empresa Exemplo”, tem-se:

- Simular Empresa: duplica todos os registros no banco de dados referentes à empresa selecionada e todos os seus módulos também em um novo banco de dados, insere uma cópia da empresa no ambiente de simulações;
- Duplicar Empresa: duplica todos os registros no banco de dados referentes à empresa selecionada e todos os seus módulos também;
- Colar: cola um item previamente copiado na empresa selecionada;
- Expandir: expandi todos os nós do ambiente de exploração;
- Agrupar: agrupa todos os nós do ambiente de exploração;
- Excluir: exclui todos os registros no banco de dados referentes à empresa selecionada e todos os seus módulos também.

Clicando com o botão direito um módulo, tem-se:

- Adicionar: Adiciona mais um item do módulo selecionado;
- Colar: cola um item previamente copiado na empresa selecionada;
- Expandir: expandi todos os nós do ambiente de exploração;
- Agrupar: agrupa todos os nós do ambiente de exploração.

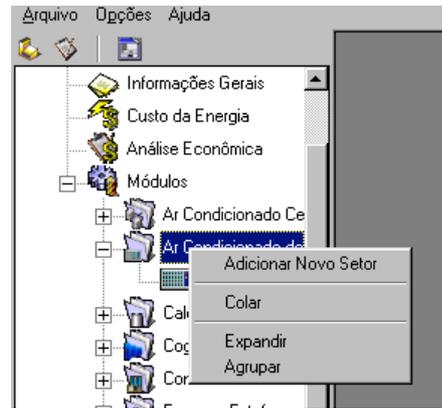


FIGURA V - OPÇÕES RELATIVA AO MÓDULO EM ANÁLISE

Em alguns módulos se faz necessário à entrada de itens complementares, como por exemplo:

Módulo Principal:

- Produtos;
- Insumos e Resíduos.

Módulo de Análise de Contas de Energia:

- Histórico de Contas.

Módulo Ar Condicionado Central:

- Equipamentos de Refrigeração;
- Setores Atendidos.

Módulo Ar Condicionado de Janela:

- Equipamentos de Ar Condicionado de Janela.

Módulo dos Condensadores a Água:

- Condensadores;
- Bombas;
- Torres de Resfriamento.

Módulo de Refrigeração:

- Equipamentos de Refrigeração;
- Câmaras Frigoríficas Atendidas.

Neste caso o usuário verá uma janela contendo três botões:

- Adicionar: adiciona mais um item no banco de dados;
- Abrir: abre o item para edição, essa ação também pode ser realizada com um clique duplo sobre o item;
- Remover: remove o item do banco de dados.



FIGURA VI - OPÇÕES RELATIVA AOS ITENS COMPLEMENTARES

Caso o usuário deseje simular alguma alteração nos dados de sua instalação, ele pode usar o recurso

“Simular Empresa” clicando com o botão direito na empresa desejada.

Esta ação irá duplicar o banco de dados e todos os módulos e itens complementares da empresa e adicionar a cópia no ambiente de simulações.

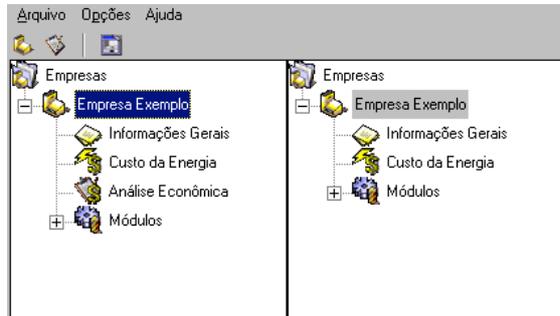


FIGURA VII - TRABALHANDO NO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

A edição de quaisquer dados na empresa do ambiente de simulações não altera em nada os dados da empresa da área de exploração/gerenciamento de projetos.

3.0 - TABELAS AUXILIARES

Para editar uma Tabela Auxiliar o usuário deve clicar no botão “Ferramentas” na Barra de Ferramentas para abrir o ambiente de edição das tabelas auxiliares.

Em seguida deve selecionar o módulo e a tabela desejada. Todos os campos relativos à tabela selecionada serão descritos a seguir.

Nessa janela o usuário encontrará três botões:

- Novo: Insere um novo registro no banco de dados;
- Atualizar: atualiza o registro no banco de dados;
- Remover: remove o registro no banco de dados.

O controle de banco de dados fica visível para o usuário identificar o número do registro que ele está operando, nesse controle o usuário pode avançar/recuar um registro, ou ir para o último/primeiro registro.



FIGURA VIII - TRABALHANDO COM O BANCO DE DADOS

4.0 - COMENTÁRIOS SOBRE ALGUNS MÓDULOS

A seguir apresentam-se comentários sobre alguns dos módulos que fazem parte do software.

4.1 Módulo de Análise de Contas de Energia

A análise dos parâmetros do consumo de energia elétrica é indispensável para uma tomada de decisão quanto ao seu uso eficiente. A conta de energia é uma síntese dos parâmetros de consumo, e uma análise histórica da fatura de energia elétrica apresenta uma boa diversidade de informações e permite estabelecer relações importantes entre hábitos e consumo.

O módulo de Análise de Contas de Energia permite que o usuário cadastre sua unidade consumidora, e monte um banco de dados com as suas contas de energia. Esse banco de dados é utilizado pelo programa para identificar oportunidades de redução dos gastos com energia elétrica através do ajuste da demanda contratada e/ou do enquadramento tarifário.

Todas as análises desenvolvidas precisam de um histórico de no mínimo doze meses, para que se tenha um panorama mais preciso das características da instalação elétrica analisada.

4.2 Módulo de Análise Econômica

O módulo de Análise Econômica tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica de uma decisão tomada a partir de critérios técnicos. Tal decisão, neste contexto, é tomada a partir dos módulos de diagnóstico do programa.

Assim, pode-se estudar a viabilidade financeira de uma determinada decisão, como também comparar a melhor decisão entre algumas sugeridas. Portanto, o módulo de análise econômica é responsável pela análise de retorno financeiro de um grupo de medidas, de forma que seus dados de saída devem ser o mais rigorosos e precisos possíveis.

Os critérios de tomada de decisão baseados em análise econômica podem-se basear em termos do valor presente, do valor anual uniforme e também da taxa interna de retorno.

4.3 Módulos de Ar Condicionado Central e de Janela

O módulo Ar Condicionado Central tem como objetivo analisar os sistemas de ar condicionado central de expansão direta, comparando-se valores de funcionamento e/ou manutenção obtidos em campo com valores médios adotados em projeto. A metodologia empregada é aplicável aos seguintes tipos de equipamentos:

- *Self-Contained* com Condensador a Ar Incorporado;
- *Self-Contained* com Condensador a Ar Remoto;
- *Self-Contained* com Condensador a Água;
- *Split-Systems*;
- *Roof-Top*.

A metodologia para análise do potencial de conservação de energia se baseia na comparação dos valores obtidos em campo, para parâmetros de funcionamento e/ou manutenção, com valores médios adotados em projeto, e facilmente encontrados na literatura técnica.

Nesta metodologia, também são considerados aspectos, relacionados a qualidade do ar interior, em desacordo com a Portaria no 3.523/GM (28 de agosto de 1998), do Ministério da Saúde, que trata da manutenção de sistemas de ar condicionado.

O módulo Ar Condicionado de Janela tem como objetivo analisar os sistemas de ar condicionado de janela que é o equipamento de ar de maior participação no mercado devido ao pequeno investimento, porém geralmente opera em condições deficientes.

A metodologia de análise empregada contempla, entre outros, os seguintes pontos:

- Análise da temperatura média do ambiente;
- Análise do estado de limpeza do evaporador;
- Análise da limpeza do filtro e do condensador;
- Análise de obstrução do evaporador;
- Análise de obstrução do condensador;
- Análise do termostato;
- Análise da vedação do ambiente;
- Análise de coerência.

A rotina de cálculo desenvolvida para quantificar o potencial de redução do consumo está baseada na comparação dos dados coletados no levantamento de campo com os valores ideais relativos a um determinado uso específico.

4.4 Módulo de Análise de Caldeiras

O módulo de Caldeiras tem como objetivo indicar caminhos potenciais para a redução de perdas. Para tanto, diversas informações adicionais deveriam ser fornecidas e o usuário deveria ser especialista no uso final em questão, o que fugiria do escopo do software.

A metodologia de análise do módulo é baseada no conceito da eficiência térmica, que é a relação entre o calor útil e o calor fornecido pelo combustível.

A partir dessas considerações iniciais, a eficiência é calculada através de dois métodos distintos:

- Método Direto

No Método Direto a eficiência é dada por: vazão mássica de vapor, vazão mássica de combustível, entalpia do vapor produzido e entalpia da água de entrada.

- Método Indireto

O Método Indireto utiliza a análise das perdas do gerador de vapor para obter o valor da eficiência. Também neste método são necessárias diversas medidas, porém como a maior parcela de perda está relacionada com o fluxo de gases pela chaminé, que pode ser medido de maneira precisa, obtém-se razoável precisão.

A perda total é composta por:

- Perdas pela chaminé;
- Perdas por radiação e convecção;
- Perdas por purgas.

4.5 Módulo de Condensadores a Água

O módulo de Condensadores a Água tem como objetivo analisar os sistemas de resfriamento de água de condensação, comparando-se os valores de funcionamento e/ou manutenção obtidos em campo com os valores médios adotados em projeto.

A metodologia de análise empregada contempla os seguintes pontos:

- Análise do controle automático do ventilador da torre;
- Análise da capacidade do sistema de resfriamento;
- Análise da vazão de água de condensação;
- Análise do intertravamento;
- Análise da diferença de temperatura na torre;
- Análise da temperatura de saída da água na torre;
- Análise do tratamento químico da água;

- Análise do vazamento de água no sistema de condensação;
- Análise da perda de pressão no condensador;
- Análise da diferença de temperatura no condensador;
- Análise da obstrução de ar na torre de resfriamento.

4.6 Fornos e Estufas

O módulo de Fornos e Estufas tem como objetivo indicar caminhos potenciais para a redução de perdas, não buscando em nenhum momento fornecer dados detalhados sobre as alterações a serem realizadas. Para tanto, diversas informações adicionais deveriam ser fornecidas e o usuário deveria ser especialista no uso final em questão, o que fugiria do escopo deste software.

A metodologia de análise deste módulo também é baseada no conceito da eficiência térmica, que é a relação entre o calor útil e o calor fornecido pelo combustível.

A partir dessas considerações iniciais, a eficiência é calculada através do Método Direto. No Método Direto a eficiência é dada por: vazão mássica de vapor, vazão mássica de combustível, entalpia do vapor produzido e entalpia da água de entrada. Para se obter estes valores são necessárias diversas medições.

4.7 Módulo de Análise da Iluminação

O módulo de Iluminação tem como objetivo sugerir o projeto mais coeso a ser executado dentro dos requisitos de qualidade como: conforto visual, cor e temperatura da luz, níveis de ofuscamento e de iluminância exigidos de acordo com o tipo de atividade realizado, sendo este último, o mais utilizado atualmente como base de cálculo luminotécnico, bem como dos fatores responsáveis pela conservação e uso eficiente de energia elétrica em sistemas de iluminação.

A análise técnica do módulo de Iluminação baseia-se no método dos lúmens para ambientes fechados com iluminação direta ou semi-direta. Os níveis de iluminância mínimos exigidos seguem a norma brasileira NBR 5413, para as várias atividades possíveis de serem executados em um determinado ambiente.

O índice de cavidade do ambiente é um fator de avaliação das dimensões do ambiente (largura, comprimento e altura) que determinará valores de rendimento luminoso dos aparelhos de iluminação na medida em que ambientes muito altos, se comparados com a sua área total, tendem a ter boa parte da luz dispersada nas paredes.

4.8 Módulo de Análise de Motores Elétricos

O módulo de Motores Elétricos tem como objetivo analisar a maneira mais eficiente de operar um motor de indução. Em média, cerca de 50% das cargas elétricas industriais são compostas por motores de indução, chegando a 70% em algumas regiões do país. Por outro lado, é muito comum encontrar-se o chamado motor superdimensionado, ou seja, motores acionando cargas muito inferiores à sua capacidade nominal, acarretando em baixos fatores de potência e rendimentos.

A metodologia de análise utilizada é o Método da Linearização, que pode ser aplicado tanto a motores de

indução trifásicos como também aos monofásicos, de alto rendimento ou de projeto padronizado.

Este método se baseia no fato de que a curva de conjugado versus rotação de um motor de indução, dentro da sua região de operação, pode ser aproximada por uma reta. Nestas condições, a partir da simples medição da rotação de trabalho pode-se obter o conjugado de trabalho conhecendo-se o conjugado e rotação nominais e a rotação síncrona.

A partir daí, determina-se à potência de trabalho (conjugado de trabalho versus velocidade de trabalho). Obtida a potência de trabalho pode-se verificar o superdimensionamento do motor quando esta for inferior a 75% da potência nominal do motor.

Com este método obtém-se a potência de trabalho do motor, os demais subsídios necessários para a avaliação das perdas serão obtidos através de informações disponíveis em catálogos de fabricantes.

4.9 Módulo de Análise dos Quadros de Distribuição

O objetivo do módulo de Quadros de Distribuição é fazer um levantamento das condições operativas dos quadros elétricos existentes na unidade consumidora. Os quadros elétricos são equipamentos estáticos que são usados para distribuir a energia e organizar circuitos de energia elétrica em uma empresa. Este módulo produz como dados de saída um relatório da análise e diagnóstico energético, onde estão contidos, entre outros, os seguintes dados:

- Adequação dos condutores;
- Perda atual com o condutor;
- Bitola do novo condutor;
- Desbalanço de tensão e desequilíbrio de corrente.

4.10 Módulo de Refrigeração

O módulo de Refrigeração tem como objetivo analisar os sistemas de refrigeração compostos por câmaras frigoríficas e equipamentos geradores de frio, comparando-se valores de funcionamento e/ou manutenção obtidos em campo com valores médios adotados em projeto.

A refrigeração industrial não pode ser considerada como um subproduto do ar condicionado. Por apresentar características próprias, que envolvem tanto uma mão de obra mais especializada quanto um custo maior de projeto em relação ao ar condicionado. Além disso, muitos problemas típicos de operação a baixas temperaturas normais em instalações de refrigeração industrial, não se observam a temperaturas características do ar condicionado para conforto.

A metodologia utilizada na análise de sistemas de refrigeração, no que se refere à sua utilização, contempla, entre outros, os seguintes pontos:

- Exame da forma e condições de armazenagem de produtos nos espaços refrigerados;
- Níveis de temperatura adotados para as câmaras frigoríficas, balcões e ilhas;
- Local de instalação do espaço refrigerado, isto é, instalação próximo a fontes de calor e/ou em locais sujeitos a incidência de raios solares;
- Vedação das portas e cortinas;
- Existência de termostato;
- Existência de forçador de ar;
- Automação do forçador de ar.

Quanto às condições de operação, conservação e manutenção, os seguintes pontos, entre outros, são abordados:

- Formação de gelo junto ao evaporador e nas tubulações;
- Condensador próximo a fontes de calor;
- Presença de impurezas (óleo e/ou poeira) nas aletas e tubos dos trocadores;
- Vazamento de óleo na ponta do eixo, juntas do cabeçote e conexões das tubulações de refrigerante;
- Falta de separador de óleo.

Todos os pontos abordados acima devem ser verificados para permitirem um desempenho eficiente do sistema. Alguns itens citados acarretam em um consumo excessivo de energia.

4.11 Módulo de Transformadores

Muito embora os transformadores sejam altamente eficientes, deve-se ressaltar que toda a energia consumida em uma indústria passa, na maioria das vezes, por estes equipamentos.

O objetivo deste módulo é fazer um levantamento das condições operativas dos transformadores existentes na unidade consumidora. Os transformadores são equipamentos estáticos que transferem energia elétrica de um circuito para outro, variando os valores de corrente e tensão, porém nessa transferência de energia ocorrem perdas que dependem da construção do transformador e do seu regime de funcionamento.

A metodologia de análise se baseia no conhecimento do comportamento do transformador em diversas condições operativas. Primeiramente é feita uma análise das perdas atuais no transformador; em seguida é feita uma análise da substituição do transformador. Por fim, são realizadas análises de desbalanço de tensão e desequilíbrio de corrente.

4.12 Módulo de Tubulação

O objetivo deste módulo é fazer um levantamento das condições operativas das tubulações existentes na unidade consumidora. Este módulo produz como dados de saída um relatório da análise e diagnóstico energético dos equipamentos cadastrados. Neste relatório estão contidos, entre outros, os seguintes dados:

- Análise de Perda de Carga;
- Perda de Carga Distribuída;
- Perda de Carga Localizada;
- Perda de Carga Total;
- Perdas Recuperáveis com a Manutenção;
- Economia devido às Perdas Recuperáveis com a Manutenção.
- Análise do Isolamento Térmico;
- Benefício Térmico do Isolamento.

5.0 - CONCLUSÃO

Este aplicativo não representa apenas uma ferramenta computacional a ser utilizada por especialistas em eficiência energética, mas também como um instrumento de formação e capacitação de técnicas de engenharia aplicadas à eficiência energética.

Esta nova versão do software se encontra disponível para download no site <http://www.eletronbras.gov.br/procel>