

XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SENDI 2002

Software para Otimização Energética dos Setores Comercial e Industrial

F. P. D. Perrone – Eletrobras/Procel, R.P. Tabosa – Eletrobras/Procel, M.Q. Lima – Eletrobras/Procel, J. Haddad – UNIFEI, G.L. Torres – UNIFEI, A. R. Aoki – UNIFEI, C.H.V. de Moraes – UNIFEI

E-mails: perrone@eletrobras.gov.br e Jamil@jee.efei.br

Palavras-chave – Conservação de Energia, Eficiência Energética, Otimização Energética, Diagnóstico Energético, Software de Otimização Energética.

Resumo - Este artigo apresenta o desenvolvimento de um software direcionado a realização dos estudos de diagnóstico energético em instalações pertencentes aos setores comercial e industrial. O mesmo foi desenvolvido a partir da experiência da ELETROBRAS/PROCEL com o software MARK IV. Este novo software possui características como uma interface gráfica compatível com o ambiente Windows, incorporação de recursos de auto-instrução para o usuário e uma simplificação dos procedimentos operacionais de entrada e análise de dados.

1. INTRODUÇÃO

Em 1985, com a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, a ELETROBRAS passou a incentivar as ações de conservação de energia elétrica em âmbito nacional, originando o Programa de Otimização Energética do PROCEL, entre cujos objetivos inicial estava o de priorizar a elaboração de Estudos de Otimização Energética individuais e setoriais, 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 foi desenvolvido o software que ficou conhecido por MARK IV.

Com a aplicação desse software as ações passaram a se desenvolver de maneira mais ágil, tornando compatíveis os interesses dos consumidores com os interesses das concessionárias, resultando num uso eficaz da eletricidade e de outros energéticos.

O aplicativo Mark IV foi desenvolvido em linguagem Clipper 5.1 em ambiente DOS, o que atualmente inviabiliza 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. METAS E OPERACIONALIZAÇÃO DO SOFTWARE

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

- Oferecer ao engenheiro e/ou consultor 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 mesmo é uma ferramenta de diagnóstico energético em que o usuário transfere ao programa informações sobre uma instalação elétrica e o software analisa os dados fornecendo como resultado um relatório com o consumo de energia e medidas de conservação de energia a serem tomadas.

Ele é um software modular composto dos seguintes módulos:

- 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.

Cada módulo de análise do software aborda um determinado tipo de instalação elétrica e fornece diagnóstico específico para tal tipo, porém estes poderão ser executados independentemente, com exceção do

módulo de análise econômica que serve de ferramenta de auxílio para os demais.

O módulo Principal consolida a utilização dos demais e tem como principais objetivos:

- Consolidar em um único relatório os resultados obtidos pelos outros módulos;
- Controlar as versões de dados que são utilizadas por cada um dos módulos;
- Gerenciar os arquivos de projetos.

O módulo Principal é um ambiente do tipo Explorador/Gerenciador de Projetos, utilizando interface do tipo MDI (Multiple Document Interface) do Windows 95. E ainda, o módulo Principal é 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.

As informações de cadastro adquiridas pelo módulo Principal poderão ser consultadas pelos demais módulos, bem como as informações referentes aos dados e resultados produzidos por um determinado módulo poderão ser consultadas por outros módulos.

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" da Menu Principal.

O Menu Principal é composto por três menus:

- Arquivo;
- Opções;
- Ajuda.

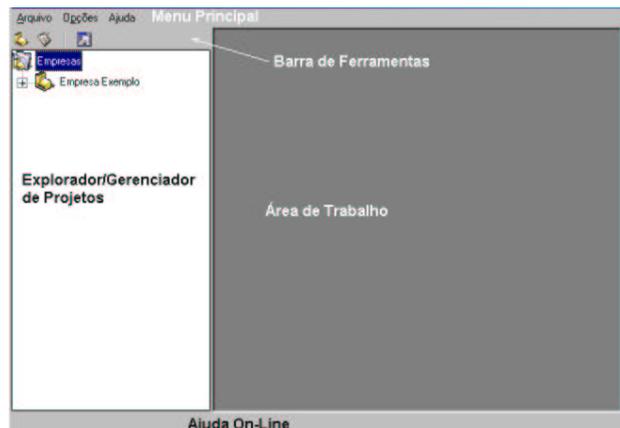


FIGURA I
TELA DO FORMULARIO PRINCIPAL

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.

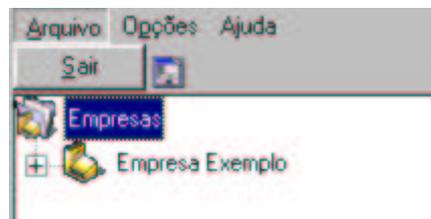


FIGURA II
TELA DO MENU PRINCIPAL

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.

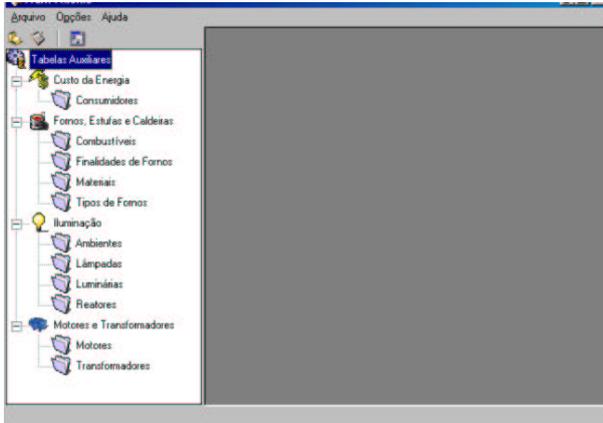


FIGURA III
TELA DO AMBIENTE DE EDIÇÃO DAS TABELAS

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.

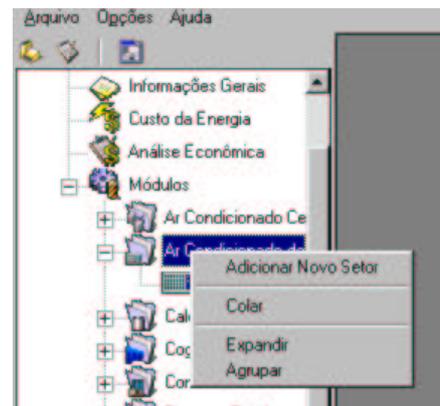


FIGURA V
OPÇÕES RELATIVA AO MÓDULO EM ANÁLISE

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.

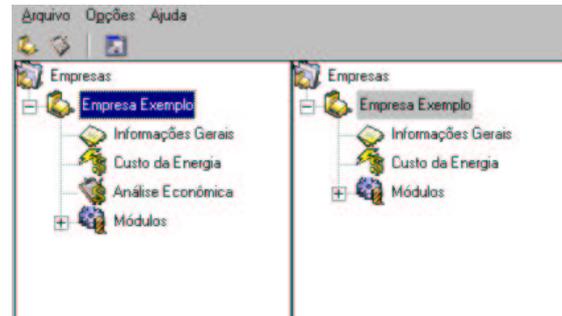


FIGURA VII
TRABALHANDO NO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

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. 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.

Nesse ambiente é possível inserir novos registros, ou até mesmo ajustar os registros existentes.

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

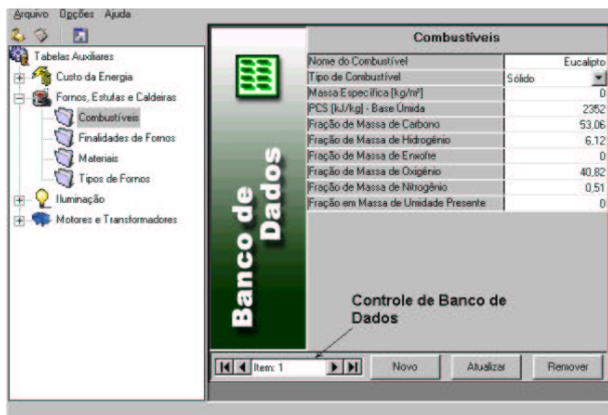


FIGURA VIII
TRABALHANDO COM O BANCO DE DADOS

4. COMENTÁRIOS SOBRE ALGUNS MÓDULOS

A seguir têm-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, não concordantes 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 mais difundido no mercado devido ao pequeno investimento, porém geralmente opera em condições deficientes.

A metodologia de análise empregada contempla os seguintes pontos:

- Análise da temperatura média do ambiente;
- Análise do estado de limpeza do evaporador;
- Análise do estado de limpeza do filtro;
- Análise do estado de limpeza do condensador;
- Análise de obstrução do evaporador;
- Análise de obstrução do condensador;
- Análise do termostato;
- Análise da regulagem para dias frios;
- Análise do ar de arrefecimento do condensador;
- Insolação direta sobre o condensador;
- Análise da proteção contra raios solares;
- 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, 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 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. Para se obter estes valores são necessárias diversas medições.

- 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 valores de funcionamento e/ou manutenção obtidos em campo com 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 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 num determinado ambiente.

Para cada tipo de lâmpada escolhida, associa-se uma variedade de luminárias com diferentes características. As cores e texturas do material com que se revestem o teto, parede e piso do ambiente também influenciam na

análise devido aos diferentes índices de reflexão de cada um.

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. Existem duas razões principais que demandam uma atenção especial a essas máquinas: a grande quantidade de motores instalados e a aplicação ineficiente dos mesmos.

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 sobredimensionado, 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.

O carregamento de um motor é definido como a potência da carga instalada em relação à potência nominal do motor, ou seja, se a potência da carga for muito inferior à sua potência nominal, pode-se dizer, que o motor se encontra sobredimensionado. O ponto ideal de carregamento se encontra na faixa de 75 a 80% da potência nominal.

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 sobredimensionamento 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. Normalmente nele ficam situados os equipamentos de proteção e segurança

Este módulo produz como dados de saída um relatório da análise e diagnóstico energético, onde estão contidos os seguintes dados:

- Adequação dos condutores;
- Perda atual com o condutor;
- Bitola do novo condutor;
- Perdas recuperáveis com a substituição dos condutores.
- Desbalanço de tensão;
- Desequilíbrio de corrente;
- Estado do equipamento.

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. Ela representa 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 os seguintes pontos:

- Exame da forma e condições de armazenagem de produtos nos espaços refrigerados;
- Tipo de iluminação artificial adotado;
- 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;
- Inexistência de controle manual (interruptor) ou automatizado (batente da porta) da iluminação interna;

- Fechamento de ilhas e balcões;
- Automação do forçador de ar.

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

- Formação de gelo junto ao evaporador e nas tubulações;
- Falta de forçador de ar;
- Condensador próximo a fontes de calor;
- Presença de impurezas (óleo e/ou poeira) nas aletas e tubos dos trocadores;
- Falta de colarinho de proteção em torno da hélice do ventilador do condensador;
- Descentralização da hélice em relação à superfície de troca de calor;
- Condensador instalado em que dificulte a circulação de ar;
- Conjunto motor/compressor não alinhado e/ou mal fixado à base;
- Vazamento de óleo na ponta do eixo, juntas do cabeçote e conexões das tubulações de refrigerante;
- Compressor ou central de refrigeração instalado em nível superior ao dos evaporadores;
- Falta de separador de óleo.

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

4.11. Módulo de Transformadores

Muito embora os transformadores sejam altamente eficientes, com rendimentos próximos a 99%, deve-se ressaltar que toda a energia consumida em uma indústria passa, na maioria das vezes, por estes equipamentos, de modo que qualquer melhoria ou otimização na sua operação pode trazer grandes benefícios.

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.

Os critérios mais comumente empregados para a especificação e análise de carregamento de transformadores fundamentam-se principalmente em limites térmicos, perda de vida, ciclo de operação e em condições do ambiente.

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. As tubulações são responsáveis, geralmente, por mais de 90% de todo transporte interno das indústrias de processo, e sua importância pode ser quantificada pela sua participação no investimento inicial.

Este módulo produz como dados de saída um relatório da análise e diagnóstico energético dos equipamentos cadastrados, neste relatório estão contidos 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;
- Perdas Recuperáveis com o Isolamento;
- Economia devido às Perdas Recuperáveis com o Isolamento.
- Estado do Equipamento.

5. AGRADECIMENTOS E CONCLUSÃO

Esta nova versão do software MARK IV se encontra em testes finais, tendo uma versão beta sido colocada à disposição da Eletrobrás/Procel. O desenvolvimento deste projeto somente foi possível com o apoio da Eletrobrás e contou com a colaboração de vários técnicos e professores tanto do Procel como da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.