

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS



Alunos: Carlos Eduardo Arnaud Nonatto

Fabício Honda

Orientador: Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni

Coordenador: Prof. Dr. Carlos Márcio V. Tahan

Data: Dez/1999



Agradecimentos

Agradecemos a todos que direto ou indiretamente contribuíram para a realização deste projeto, em especial, agradecemos aos familiares, colegas e nosso orientador, por fim mas não menos importante a Deus.



ÍNDICE

1. Apresentação	.05
1.1 Tema do trabalho.	.05
1.2 Equipe	.05
1.3 Orientador.	.05
1.4 Coordenador	.05
2. Sinopse	.07
3. Introdução	.09
4. Objetivos	.11
5. Metodologia	.13
5.1 Pesquisa bibliográfica	.13
5.2 Estudo da linguagem	.13
5.3 Entrevistas e estudos dedicados.	.14
5.4 Definição e desenho do software	.15
5.5 Elaboração final do software	.15
6. Linguagem	.17
6.1 Escolha da linguagem	.17
6.2 Estudo da linguagem	.17
7. Recursos Utilizados.	.19
8. Dados	.21
8.1 Levantamento dos dados	.21
8.2 Classificação e organização dos dados.	.21
8.3 Listagem dos dados	.22
9. Definição do projeto	.24
9.1 Considerações sobre a definição	.24
9.2 Diagrama de blocos	.24
9.3 Fluxograma de processamento	.26
10. Programação	.29
10.1 Aplicativo ESTA.	.29
10.2 Metodologia de programação	.30
10.3 Problemas de expansão	.31
11. Programa (Especificações e Características)	.34
11.1 Código fonte do programa	.34
11.2 Exemplos de telas de navegação do programa	.35



12. Resultados Obtidos	.38
13. Testes	.40
13.1 Testes durante a programação.	.40
13.2 Teste final do Sistema	.40
13.3 Teste de utilização	.40
14. Possíveis Melhorias	.42
15. Conclusões	.44
 Bibliografia	 .46

Anexos

- A1. Dados obtidos
- A2. Código Fonte do Programa (Protótipo)
- A3. Código Fonte do Programa (Versão Definitiva)
- A4. Manual do Usuário
- A5. Versão do Sistema para Web
- A6. Artigo Técnico (Cópia)



1. APRESENTAÇÃO



1. Apresentação

1.1) Tema do trabalho

Diagnóstico de Defeitos em Equipamentos de Potência

1.2) Equipe

Carlos Eduardo Arnaud Nonatto

Fabício Honda

1.3) Orientador

Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni

1.4) Coordenador

Prof. Dr. Carlos Márcio V. Tahan



2. SINOPSE



2. Sinopse

Ferramentas Especialistas são softwares construídos para auxiliar em atividades de tomada de decisão onde seja necessário encontrar uma solução rápida ou um encaminhamento para um problema.

No presente trabalho descrever-se-á o processo de construção de uma ferramenta especialista voltada para o Diagnóstico de Equipamentos de Potência. Para a elaboração foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica em busca de livros que versassem sobre o tema. Para a elaboração da lógica e dados adicionais, profissionais da área de manutenção foram consultados. Sendo o objetivo deste projeto diagnosticar defeitos em equipamentos em operação, a influência do meio em que o mesmo opera é de extrema importância, justificando os chamados dados adicionais, ou seja, relatos sobre o histórico do equipamento.

O software foi implementado em Visual Prolog, uma linguagem dita de Inteligência Artificial e que se faz adequada para programação de sistemas especialistas.

Quanto ao funcionamento, a ferramenta realiza perguntas simples que tem a sua resposta analisada com o auxílio de um banco de dados e em função disto, o programa conduz o usuário a uma série de outras perguntas levando-o às causas mais prováveis do problema.



7

3. INTRODUÇÃO

3. Introdução

A quebra de um equipamento é algo inerente à existência e funcionamento do mesmo. Apesar de ser algo inerente é um acontecimento altamente indesejado, que prejudica um processo, causando prejuízos e atrasos.

Para minimizar estas conseqüências é importante que o diagnóstico do problema seja feito de maneira rápida e eficiente. O ideal é que o diagnóstico fosse feito de imediato por um especialista no assunto, no entanto a manutenção deste profissional torna-se por demais onerosa, o que impulsiona, portanto, o desenvolvimento de ferramentas especialistas que façam uma parte importante deste trabalho de identificação do problema ou pelo menos gere um avanço significativo deste.

Dada esta situação o presente trabalho foi elaborado sobre o pretexto de desenvolver uma ferramenta especialista para o diagnóstico de falhas em equipamentos de potência, mais precisamente, uma ferramenta (software) especialista de diagnóstico de defeitos em máquinas elétricas rotativas de pequena porte; utilizando-se de recursos proporcionados pelo emprego de inteligência artificial e de conhecimentos sobre manutenção das máquinas.

A ferramenta aqui desenvolvida tem abrangência exclusiva a máquinas elétricas de pequeno porte (baixa potência), dos tipos: corrente contínua, assíncrona, síncrona e monofásica.



4. OBJETIVOS

4. Objetivos

O projeto em questão objetiva o desenvolvimento de uma ferramenta especialista de diagnóstico de falhas em máquinas elétricas rotativas, de baixa potência, através, não só, da análise de informações - alimentadas pelo usuário - sobre as manifestações apresentadas pela máquina, como também por informações de suas características construtivas, seu fabricante, possível histórico de manutenção, além de dados sobre idade, ambiente em que se encontra instalada e exposta, bem como outras características referentes a sua instalação.



5. METODOLOGIA

5. Metodologia

O desenvolvimento de uma ferramenta especialista nada mais é que implementar um banco de dados de forma que a saída seja o resultado obtido por um estudo profundo por parte do algoritmo identificador de problema. De uma maneira simplificada podemos enumerar as etapas para o desenvolvimento deste projeto da seguinte forma:

- Pesquisa Bibliográfica
- Estudo de Linguagem
- Entrevistas e Estudo Dedicado
- Definição e Desenho do software
- Elaboração Final do Software

A seguir, uma breve descrição de cada atividade desenvolvida, é apresentada:

5.1) Pesquisa Bibliográfica

Para a realização do projeto se fez necessário o levantamento de dados a respeito de falhas em máquinas elétricas rotativas e suas manifestações.

Em busca de tais informações, livros que versavam sobre manutenção de máquinas elétricas, se revelaram preciosas fontes de informação.

Outras contribuições significativas trazidas por estes textos foram relações de possíveis soluções para os problemas encontrados.

Assim, após concluída a pesquisa sobre textos de manutenção em máquinas elétricas rotativas, partiu-se para a listagem e primeira triagem (superficial) dos dados colhidos, seguido de prévia organização.

5.2) Estudo da Linguagem

Para a programação da ferramenta, utilizou-se uma linguagem de programação especialmente criada para o desenvolvimento de sistemas especialistas, baseada em conceitos de inteligência artificial. Esta linguagem é conhecida como ProLog.

O ProLog (Program Logic), apesar de antiga, é uma linguagem pouco difundida, por apresentar uma utilização específica, entre os programadores de nível médio e básico. O ProLog se caracteriza como uma linguagem não recursiva, o que a difere em muito das usuais – ditas recursivas, onde o programador deve fazer com que todas as operações de lógica e laços sejam explicitados no código do software – no ProLog, o próprio conceito do software se encarrega de

guiá-lo, a fim de buscar todas as possíveis soluções para o questionamento apresentado, ou seja, o modo como esta busca é realizada é algo intrínseco a linguagem de programação.

Neste aspecto o Prolog é uma linguagem de estrutura fácil, uma vez que todas as operações estão implícitas e são executadas em função das metas do programa. Para esclarecer melhor a estrutura de programação vejamos o fluxograma abaixo:

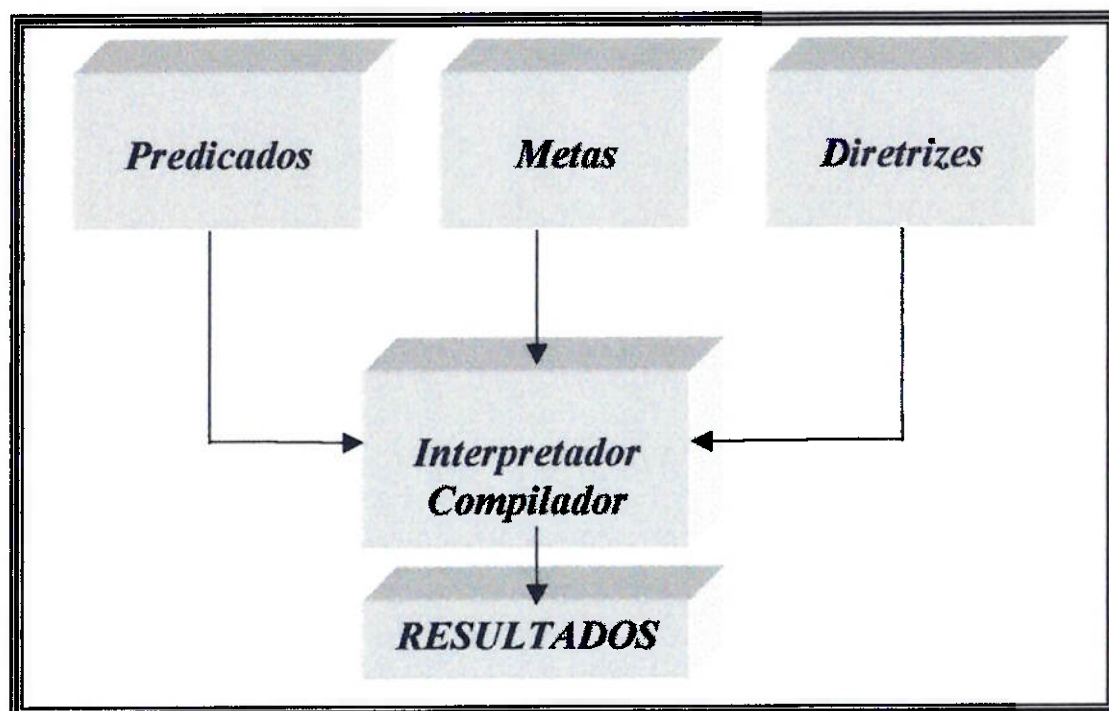


Fig.1 – Fluxograma da Estrutura da Programação em PROLOG

Observando a figura 1 podemos identificar três blocos de “entrada” que são:

Predicados – neste tipo de estrutura são colocados os fatos que o programa irá recorrer para chegar a meta.

Diretrizes (Regras) – aqui são especificadas relações entre os Predicados

Metas – Através da interação entre os fatos e predicados o programa chega ao resultado que são colocados na forma de metas.

Para o estudo da linguagem ProLog, utilizou-se dos manuais que acompanham o software, que além de apresentarem os conceitos básicos e avançados da linguagem, se mostraram muito didáticos, ricos em exemplos e exercícios, principalmente os tutoriais, permitindo ao usuários um estudo completo da linguagem, conjuntamente com a prática, de forma gradativa e contínua.

5.3) Entrevistas e estudos dedicados

As entrevistas com profissionais do ramo de manutenção de máquinas elétricas se mostraram de extrema importância para a percepção do lado prático da operação propriamente dita. Através



das entrevistas, foi possível colher informações sobre a periodicidade de cada falha, noções sobre o lado econômico que envolve a manutenção de equipamentos; conceitos, programação e importância da realização de manutenção preventiva, além de cuidados a serem observados durante o desenvolvimento do software.

Na etapa de estudos dedicados, os esforços foram concentrados na filtragem dos dados recolhidos, agrupando-os conforme o modelo de máquina utilizada, características de instalação, históricos, etc. de forma a garantir a convergência mais rápida dos resultados.

Foi possível também criar um ensaio, com a utilização de uma versão simplificada de linguagem para sistemas especialistas, do software utilizando somente com interface textual. Este ensaio se tornou importante, visto que possibilitou a previsão de problemas que iriam surgir quando da programação final; e tornando possível suas soluções antes mesmo da ocorrência.

5.4) Definição e Desenho do Software

Após a listagem e organização dos dados obtidos e dos estudos dedicados realizados em etapas anteriores, reservou-se um tempo para a definição do software propriamente dito, suas características, como seriam suas entradas e saídas, sua interface com o usuário, quais recursos poderiam ser implementados, enfim a definição das características do software.

5.5) Elaboração Final do Software

Nesta etapa final, houve a execução da programação. Após definidos e concretizados os dados, objetivos e características da ferramenta, e após a conclusão dos estudos da linguagem, partiu-se para a etapa de maior importância no projeto, a implementação do software. Toda a programação do software foi realizada acompanhada de testes periódicos, facilitando o processo. Após o resultado final, foram realizados também os teste de validação da ferramenta desenvolvida.



6. Linguagem

6.1) Escolha da linguagem

São várias as linguagens de gerenciamento de banco de dados presentes no mercado nos dias atuais, contudo, visto a complexidade, volume e detalhamento dos dados a serem tratados, buscou-se uma linguagem mais robusta, que, baseada em princípios de inteligência artificial, permitisse o desenvolvimento da ferramenta especialista projetada, de forma mais completa.

Diante das opções de linguagens disponíveis neste segmento, optou-se pelo Visual ProLog, uma linguagem específica para desenvolvimento de sistemas especialistas, baseada na linguagem ProLog, enriquecida com recursos visuais para implementação das interfaces amigáveis sistema-usuário.

Outra vantagem da linguagem escolhida é a sua portabilidade. Possuindo o código fonte do programa bem como o compilador, é possível gerar os módulos executáveis, compatíveis com todas as plataformas de sistemas operacionais atuais, tais como: MS-DOS™, Windows 95/98™, Windows NT™, OS/2™ e até UNIX™.

6.2) Estudo da Linguagem

Por ser uma linguagem específica, e por isso pouco difundida ao nível de programação básica e média, reservou-se um bom período no desenvolvimento do projeto para a aprendizagem e conhecimento da linguagem e seus recursos. O estudo foi realizado a partir dos manuais que acompanham o software e por literatura dedicada ao assunto.

A documentação que acompanha o software foi de grande importância neste estudo, visto que além de apresentar os fundamentos da linguagem e sua programação, ela é rica em exemplos e exercícios práticos que auxiliam na aprendizagem e fixação dos conceitos descritos; evoluindo gradualmente.

Já literatura dedicada ao estudo de desenvolvimento de sistemas especialistas forneceu técnicas e dicas importantes na hora de organizar e classificar os dados obtidos, facilitando a implementação do projeto, e tornando mais dinâmica a programação.



7. RECURSOS UTILIZADOS

7. Recursos Utilizados

Para o desenvolvimento do projeto em questão, foram utilizados micro-computadores, do tipo IBM-PC™ compatíveis, com Windows 95 e 98™, como sistemas operacionais, e equipados com o software de linguagem de programação Visual ProLog, versão 5.0, com “patches” de correção para a versão 5.1.

Para a implementação da versão do programa para internet (WWW), foi utilizado um servidor de internet com recursos de suporte a extensão ASP (Active Setup Page).



8. Dados

8.1) Levantamento dos Dados

Os dados utilizados para a construção do sistema especialista desenvolvido, são resultado de uma grande pesquisa bibliográfica, entrevistas com profissionais e consultas a fabricantes, catálogos técnicos e normas de regulamentação de manutenção.

A pesquisa bibliográfica forneceu os dados básicos, permitiu o levantamento de um vasto número de ocorrências em máquinas rotativas elétricas, relacionando-as com suas principais manifestações (sintomas), e suas possíveis soluções, numa sequência de causa-efeito-solução. Destaque deve ser feito aos títulos que versavam sobre manutenção em equipamentos elétricos, principalmente os dedicados a máquinas elétricas rotativas.

As entrevistas com profissionais da área de desenvolvimento (projetistas) e de manutenção de máquinas elétricas rotativas se mostrou eficiente, na medida que forneceu dados práticos para a pesquisa, conhecimentos adquiridos na prática desses profissionais e muitas vezes ausentes na literatura. São exemplos: apontamento de pontos fracos em determinados fabricantes, dados e estatísticas sobre a vida útil de determinados componentes da máquina, periodicidade de manutenção, entre outros.

As consultas a fabricantes e a catálogos técnicos contribuíram com informações sobre as considerações que devem ser tomadas quanto à instalação das máquinas, modo de operação correto (ideal) das mesmas, procedimento de manutenção adequado, vida útil de componentes e da máquina como um todo, além de características específicas de cada fabricante.

As normas técnicas serviram de base de dados no tocante a consultas sobre a regulamentação de procedimentos de manutenção de equipamentos, como as máquinas elétricas rotativas, quais são os principais alvos (componentes) a serem verificados, chegando a resultados mais precisos na identificação de problemas, e podendo reproduzir itens a serem verificados numa eventual seção de prevenção de falhas que possa vir a tomar parte no programa.

8.2) Classificação e organização dos dados

Uma das fases mais importantes, anterior a programação, foi a classificação e organização dos dados, pois seria baseada nestas listagens que o programa iria ser construído. O maior nível de organização e separação dos defeitos, resultariam num programa mais claro, de fácil entendimento e com maior probabilidade de sucesso.

O primeiro passo foi a separação dos defeitos entre os quatro tipos de máquinas implementados, possibilitando que, a partir da informação do tipo de máquina - dado alimentado pelo usuário no início do programa -, o software irá somente percorrer os defeitos pertinentes

aquele tipo de máquina, viabilizando uma convergência mais rápida ao resultado desejado, garantindo assim dinamismo a ferramenta desenvolvida.

Numa segunda etapa, buscou-se a elaboração de uma matriz de defeitos, onde podiam ser identificadas manifestações semelhantes a diversas falhas, ou seja, manifestações que se questionadas ao usuário, não levariam a nenhum avanço na convergência ao resultado final, o defeito da máquina analisada. Logo tais perguntas, não convergentes, poderiam ser abortadas, e novamente o dinamismo estaria assegurado.

Outra preocupação levada em conta foi a ordenação dos defeitos segundo critérios de idade da máquina (quantos anos, quais os problemas mais usuais em máquinas com determinado tempo de uso, etc.), características ambientais a que ela esta sujeita (ambiente abrasivo, poluído quimicamente, condições de pressão e umidade, variações de temperatura ambiente a que esta sujeito, etc.), características de instalação da máquina (condições de rede elétrica local, etc.) e características de operação da máquina (operador treinado ou não, regime de operação contínuo ou em turnos, operação em regime normal ou não, esta sujeita a paradas não programadas, etc.); enfim foram levantados vários casos e situações possíveis para que os dados pudessem ser organizados de forma mais objetiva e correta. Vale destacar que neste trabalho de classificação a consulta a profissionais foi de grande valor e ajuda.

8.3) Listagem dos dados

As listas contendo os principais dados levantados para a elaboração do projeto, anterior às classificações e organizações, porém já dividida segundo o tipo de máquina, se encontra transcrita no final deste relatório, na forma de anexo, sendo fonte de consulta aos que buscam maiores detalhes sobre os defeitos abordados pela ferramenta desenvolvida.

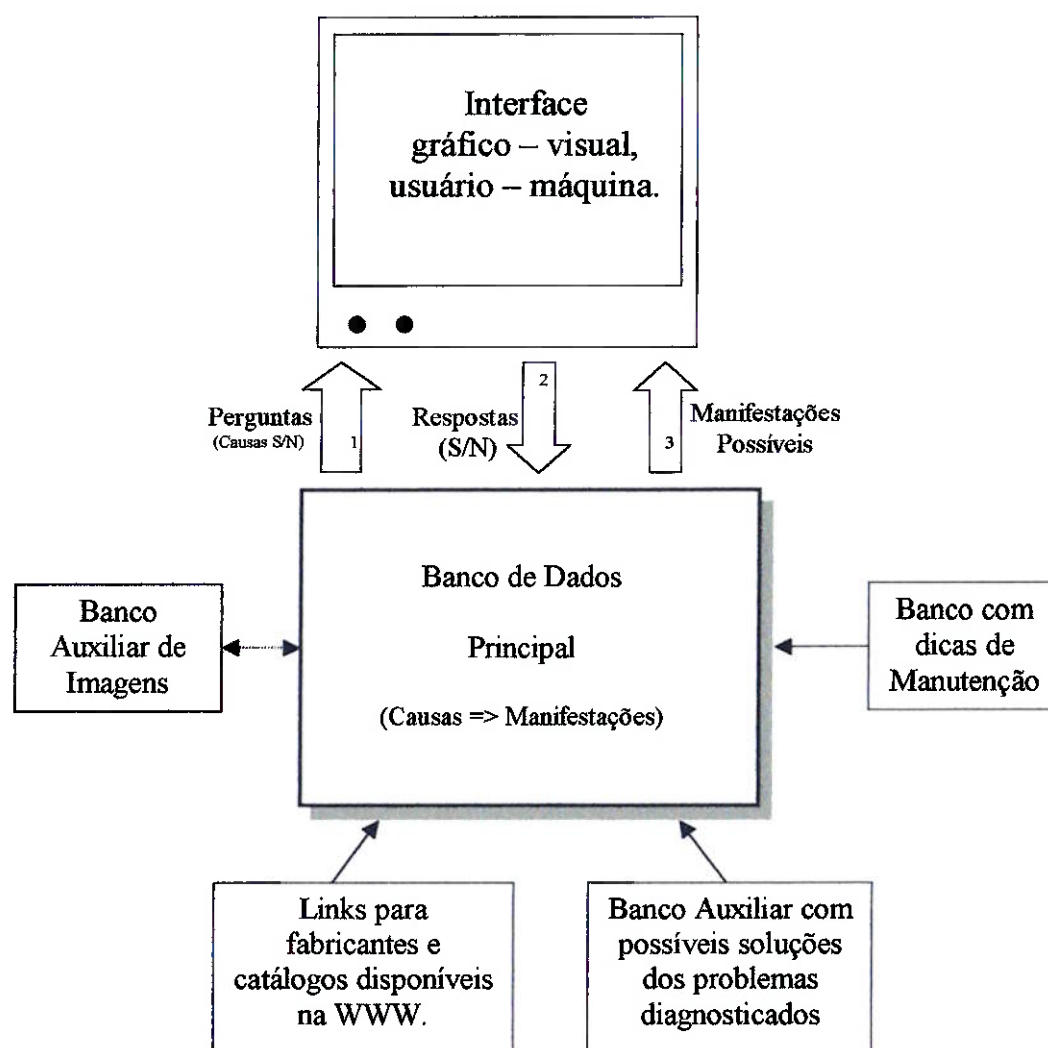


9. Definição de Projeto

9.1) Considerações sobre a definição

Após concluída a etapa de organização e classificação dos dados obtidos, partiu-se para elaboração, estudo e definição do software. Através da elaboração do diagrama de blocos do software e do fluxograma do processamento das informações no software, foi possível solidificar e concretizar as idéias a serem implementadas no programa. Esta fase inicial de definição de projeto tem seu valor, na medida em que seu resultado serve de roteiro no desenvolvimento do programa, evitando desvios e mudanças no trajeto inicialmente definido, tornando mais dinâmico e eficaz o trabalho futuro de programação.

9.2) Diagrama de blocos



O programa (software) como foi pensado, esquematizado anteriormente pelo seu diagrama de blocos, tem como interface usuário-máquina, um ambiente amigável com a presença de recursos visuais e de fácil entendimento e uso, como todos os aplicativos desenvolvidos no conceito de janelas disponíveis hoje no mercado.

Através dessa interface o usuário pode interagir com o programa da seguinte forma: 1) o sistema irá fazer perguntas do tipo múltipla escolha e/ou verdadeiro/falso ao usuário; 2) o usuário irá por sua vez, responder aos questionamentos, clicando nas respostas mais convenientes; repetindo este processo algumas vezes, o sistema converge a um determinado número de defeitos; 3) o sistema apresenta então ao usuário o resultado encontrado. Este fluxo de dados está representado através das setas (1), (2) e (3), respectivamente.

Na estrutura do sistema, encontra-se um bloco principal contendo os dados a serem percorridos, dados esses coletados, organizados e classificados anteriormente. Esses dados são a base do sistema, são eles os responsáveis pelas perguntas, pois contêm as relações entre manifestações e defeitos.

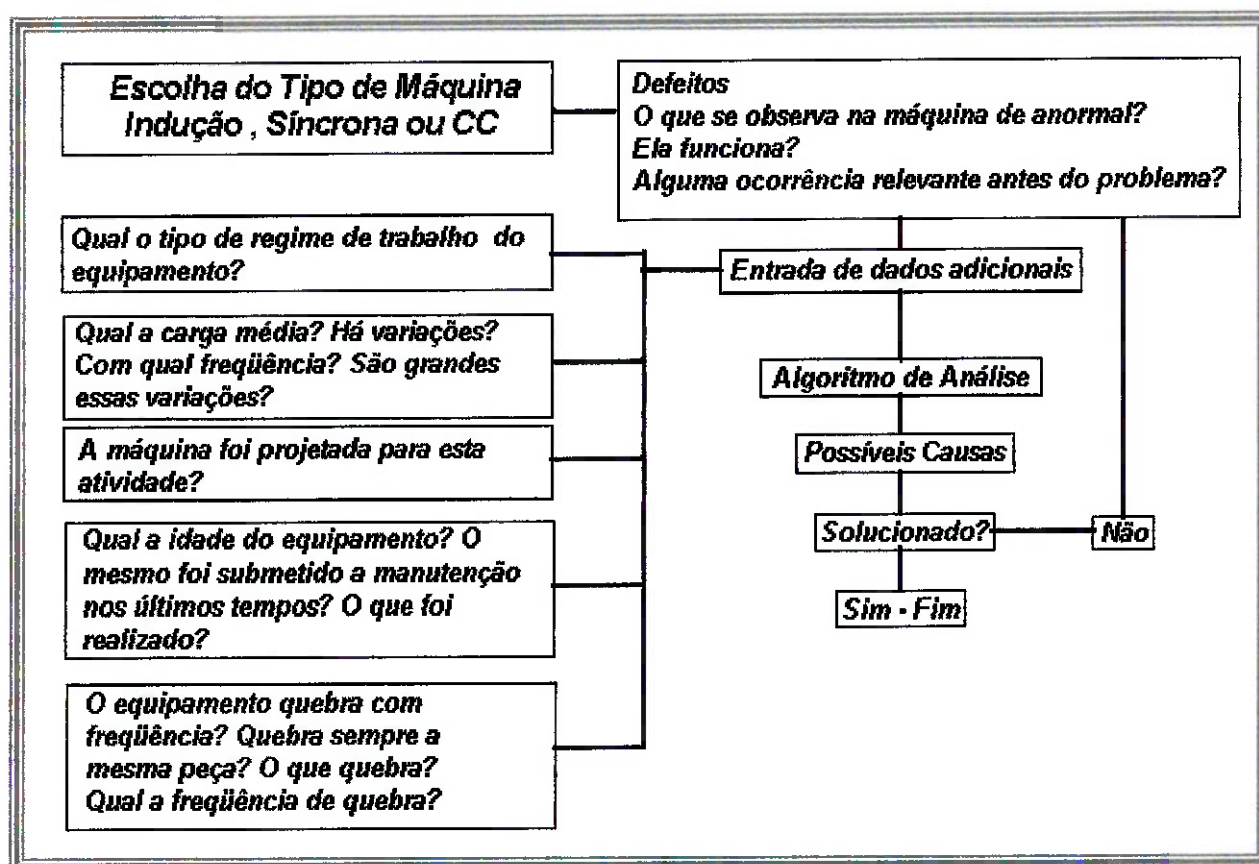
Ao redor deste bloco principal, se encontram vários outros blocos, com funções secundárias, que suprem com informações adicionais o sistema. São eles:

- *Banco com dicas de Manutenção*: como o próprio título diz, este bloco é responsável por armazenar informações a respeito de dicas de manutenção preventivas, que estarão disponíveis aos usuários;
- *Banco com possíveis soluções aos problemas diagnosticados*: após diagnosticado o problema, o usuário poderá consultar uma relação de possíveis soluções para aquele determinado defeito, logo este bloco é responsável por guardar estas informações;
- *Links para fabricantes e catálogos disponíveis na WWW*: breve catálogo de contatos dos principais fabricantes, contendo endereços, telefones e também endereços dos sites dos mesmos, facilitando a consulta do usuário a catálogos para a solução de dúvidas técnicas;
- *Banco Auxiliar de Imagens*: armazena imagens que mostram vários defeitos, onde o usuário pode escolher aquela imagem que representa melhor o que ocorre com seu equipamento. Isto se mostra uma alternativa para evitar que a interface não seja somente na forma de texto, ou seja, uma forma de ilustrar as perguntas feitas.

Apresentado desta forma o programa basicamente poderia ser implementado por um programa de banco de dados qualquer, visto que são diversos blocos de dados, interligados entre si. Porém uma análise mais profunda dos dados e dos relacionamentos presentes entre eles, é que justifica o emprego dos recursos escolhidos e empregados no desenvolvimento desta ferramenta especialista, graças a complexidade dos mesmos.

9.3) Fluxograma de Processamento

A seguir é exposto o fluxograma básico do software, que será comentado após o mesmo:



Como pode se observar a idéia do programa é simples. O processamento é baseado no tipo de máquina que se estuda e uma série de perguntas é feita para esclarecer melhor a natureza interna do problema na máquina. Feito isso, dados adicionais sobre a relação máquina-meio são introduzidos. Parte-se então para o algoritmo de análise e com base no conjunto completo de dados o algoritmo retorna os possíveis problemas que possam estar ocorrendo e suas possíveis soluções. Caso o problema não seja solucionado, o sistema volta a fazer algumas perguntas para refinar a análise e apresenta novas propostas para o usuário. Acima pode ser observado o fluxograma das informações no programa, através de um exemplo hipotético.

No entanto a etapa mais trabalhosa da elaboração da ferramenta é criar uma matriz que associe um conjunto de respostas das perguntas feitas aos dados defeito. De maneira geral a elaboração desta matriz é a alma do trabalho em questão, uma vez que devem ser elaboradas questões adequadas, cujas respostas serão combinadas de maneira a encaminhar a solução mais coerente do problema, da forma mais rápida possível. Observando, novamente, o diagrama de blocos da página anterior pode-se ter uma melhor idéia de como funciona o software. Observe que existem perguntas que tem como possibilidade de resposta um simples sim ou não. Há outras perguntas que abrem outras possibilidades de respostas, isto é, não são esperadas respostas do

tipo digital (sim/não), mas sim respostas como a idade do equipamento e outras características. Dado estes tipos de perguntas, as repostas passam a ser analisadas através das chamadas diretrizes, que trabalham em conjunto com os fatos. Após um estudo realizado pelo algoritmo interno da linguagem, chega-se a meta, que é a solução do problema.

Nos anexos encontram-se a listagem do protótipo desenvolvido e alguns detalhes extras a respeito do mesmo.



10. Programação

10.1) Aplicativo ESTA

Após realizar um estudo detalhado da linguagem Visual Prolog, bem como todas as funções, projetos, exemplos e aplicativos que acompanham o pacote, chegou-se ao aplicativo ESTA (Expert System Shell for Text Animation).

O aplicativo ESTA foi especialmente desenvolvido e desenhado para a criação de sistemas especialistas; ele permite que além de texto, se use imagens e outros recursos – como chamada a programas externos – como forma de enriquecer o sistema especialista criado.

O aplicativo ESTA foi totalmente escrito em Visual Prolog, vindo no pacote do software seu código fonte, que deve ser carregado e compilado antes de usá-lo. Tendo acesso ao código fonte do aplicativo, foi possível realizar a tradução de quase totalidade do mesmo a língua portuguesa, incluindo telas de apresentação, botões e caixas de diálogo. Única exceção é o conjunto de mensagens internas, das quais o processamento é dependente, e cuja tradução comprometeria o correto funcionamento do aplicativo.

Outro ponto a ser destacado é o fato do aplicativo apresentar telas de fácil navegação, constituindo uma interface amigável entre o operador e o computador. As janelas com imagens dispõem da opção zoom, o que permite melhor visualização dos detalhes da imagem utilizada como ilustração.

Utilizando-se de uma analogia com programas comerciais usuais, para melhor exemplificar o funcionamento do ESTA, ele está para o Visual ProLog, assim como MS-Access está para o sistema operacional Windows.

Outra característica importante a ser mencionada é a possibilidade de poder dividir o sistema especialista em diversos outros sub-sistemas – de menor dimensão -, evitando a necessidade de carregar “pesados” e extensos sistemas, alocando grande parte dos recursos disponíveis do computador empregado.

Especialmente no caso deste projeto, esta última característica descrita foi extensamente utilizada. Dividiu-se um sub-sistema para cada tipo de máquina elétrica rotativa, assim, a partir de uma pergunta inicial – após a entrar na opção Diagnóstico de Problemas – o operador seleciona o tipo de máquina em que deseja focalizar o diagnóstico, e o aplicativo passa a trabalhar exclusivamente com os dados referentes a esta opção, ignorando as demais possibilidades de máquinas, reduzindo assim o volume de processamento a ser realizado.

Diante da breve descrição acima sobre as características apresentadas pelo aplicativo ESTA, esperou-se provar que este se mostrou uma ferramenta ideal e fundamental ao desenvolvimento do projeto proposto, uma vez que reuni todas as características necessárias e desejadas à implementação do sistema de diagnóstico de defeitos que constitui o objetivo deste projeto.

10.2 Metodologia de Programação

10.2.1 Etapa de diagnóstico de defeitos

Como descrito anteriormente optou-se por dividir o sistema especialista como um todo em diversos sub-sistemas, de menor tamanho, centrados cada um num tipo de máquina específico, por razões já claras.

Para a programação de cada um desses sub-sistemas, separou-se os dados conforme as máquinas a que pertenciam, justamente como estão apresentados no final deste volume em forma de anexo. (Primeira fase)

Consultando literatura sobre formas de se construir e organizar dados num sistema especialista, várias dicas e conselhos foram considerados, até que chegou-se a uma solução que aparentemente atendia a todas as necessidades, de forma clara e objetiva.

A solução encontrada foi a organizar e distribuir os dados em forma de matriz. Nesta matriz os dados são dispostos da seguinte forma:

- Os defeitos são colocados nas linhas da matriz;
- Cada coluna da matriz corresponde a uma das perguntas a serem realizadas durante o processo de identificação de defeitos.
- Cada célula da matriz tem especificada a resposta que cada pergunta deve receber para que o defeito daquela linha seja identificado, assim, percorrendo uma linha da matriz, temos o "caminho" de convergência para cada defeito.

Durante a programação, o que é usado na verdade não é a informação contida por linha, mas sim a informação contida nas colunas, visto que a programação do sistema é realizada a partir da resposta obtida em uma pergunta.

A seguir apresentamos um trecho de uma das matrizes construídas:

Causas Possíveis	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14
Sobrecarga mecânica	S	S	S	S	S	S	S		S					
Mancais desgastados	S	S	S		S	S	S							
Escovas fora de posição	S	S		S	S	S								
Base frouxa ou instável	S	S			S	S					S			
Entradas desiguais de ar	S	S			S	S					N	N		
Mica alta no coletor	S	S			S	S					N	S		

Matriz 1: Trecho extraído da matriz da Máquina de Corrente Contínua (Motor Shunt)

A construção destas matrizes (segunda fase) foi a que mais demandou tempo. Com posse dos dados já coletados, foi necessário identificar um por um dos defeitos, buscando redundâncias e até defeitos que se somavam, como exemplo pode-se indicar a relação existente entre os dois defeitos: *polia solta ou frouxa* e *problemas de acoplamento*.

Outro cuidado que se teve foi o de observar que alguns defeitos geravam varias manifestações simultaneamente, ou seja, identificado certo conjunto de manifestações automaticamente estava identificado o defeito da máquina.

Uma dificuldade encontrada nesta etapa de programação, e que vale ser destacada, é a elaboração das perguntas, que deveriam ser diretas, decisivas e de fácil compreensão e resposta. Um caminho encontrado foi de tratar as perguntas como um roteiro de testes a ser realizado pelo operador, no trabalho de identificação das falhas, daí muitas das perguntas sugerirem que o operador meça algumas grandezas como tensão, corrente, resistência; ora sugere o emprego de aparelhos específicos para observar algum detalhe; ora sugere uma inspeção visual, ora propõe uma análise de ruído.

Com certeza esta etapa tomou mais atenção e tempo, e também concentrou a maior aplicação dos conceitos e estudos de Engenharia de todo o projeto. Concluída a matriz de uma determinada máquina, tem-se em mãos o mapa do sistema especialista; ali todos os caminhos de convergência a todos os defeitos cadastrados de uma determinada máquina estão descritos e traçados. O emprego de diversas horas na elaboração destas matrizes resultou numa considerável economia de tempo durante a programação.

Findado a elaboração de todas as matrizes de todas as máquinas, partiu-se para a programação dos sub-sistemas propriamente ditos. (Terceira fase) Partindo das matrizes, esta etapa se caracterizou pelo trabalho de programação, digitação e correção de possíveis falhas cometidas anteriormente. Nesta etapa, todos os defeitos, perguntas foram cadastradas, bem como as regras de convergência (ou "caminhos") a serem utilizados pelo software na identificação dos defeitos.

Finalizado o processo de programação, restou somente a atividade de criação, elaboração e inserção das figuras e ilustrações que servirão para auxiliar o operador em sua tarefa. (Quarta fase). Nesta etapa destaca-se o emprego de software's de edição e tratamento de fotos e figuras, na elaboração das ilustrações.

10.3 Problemas de expansão

Como descrito anteriormente, fica notória a complexidade em que os dados e todas as regras de convergência foram criadas, e também se prova que não há outra forma de o ser visto o grande volume de informações a ser considerado na ocasião do diagnóstico.

Sendo assim, uma das propostas iniciais deste projeto, de possibilitar ao usuário a opção de acrescentar defeitos particulares a sua instalação, se torna um tanto quanto inviável, à medida que o operador necessita conhecer todo o código fonte do programa, ter noções da linguagem de programação utilizada, conhecer como foi desenvolvido o software e como seus criadores trabalharam os dados para garantir a convergência aos mesmos.

Este volume de informações necessárias ao operador, para que este execute alterações ou inclusões no software, tornam estas atividades difíceis. Uma possível solução a este imprevisto é garantir ao operador (cliente) uma assistência contínua, com atualizações periódicas, garantindo a ele uma versão atual e completa.



No caso de personalizar possíveis defeitos conforme as instalações individuais de cada cliente, o desenvolvedor pode se comprometer a incluir, em versão exclusiva, os defeitos solicitados pelo cliente.



11. Programa

11.1 Código Fonte do Programa

A análise do código fonte do programa, constitui uma atividade simples e descomplicada, uma vez que temos posse da matriz de dados que o gerou. Basicamente todo o banco de dados do sistema especialista criado é tratado como um grande arquivo texto (isto faz com que os arquivos sejam pequenos e "leves"), onde pode-se identificar dois tipos de parâmetros: *parameters* e *sections*.

- *Parameter*: aqui são cadastradas todas as perguntas a serem realizadas durante o processo. Todo *parameter* é identificado no arquivo texto por *#p*. A seguir transcreveu-se a descrição de um dos *parameter*:

```
parameter Q1 : 'Motor aquecido '           <Cabeçalho>
type category                               <Tipo de Parâmetro>
explanation 'Verificar se o motor apresenta aquecimento em operação. '
options                                     <Alternativas de respostas>
    Sim - 'Sim ' ;
    Nao - 'Não ' .
/* rules field */
question 'O motor está funcionando muito aquecido? ' <Pergunta>
```

- *Section*: nestes parâmetros, identificados através de *#s*, são cadastrados todos os defeitos que são apresentados em caixas de diálogo separadas, em forma de avisos (advice). Foram também utilizados estes parâmetros para se cadastrar todas as regras de convergência do processo de diagnóstico.

A seguir apresentam-se os exemplos de cada modelo respectivamente:

- Cadastro de defeito
section D103 : 'Defeito 103 ' <Cabeçalho>
advice 'Possível defeito da máquina 'identificacao': Sobrecarga, causando reação do induzido.' <Descrição da ação a ser executada>
- Cadastro de regra
section S15 : 'seção 15 ' <Cabeçalho>
if q15='a1' do d4
if q15='a2' do d112 <Identificação da pergunta com a respectiva resposta, seguida da ação a ser executada>
if q15='a3' do s16

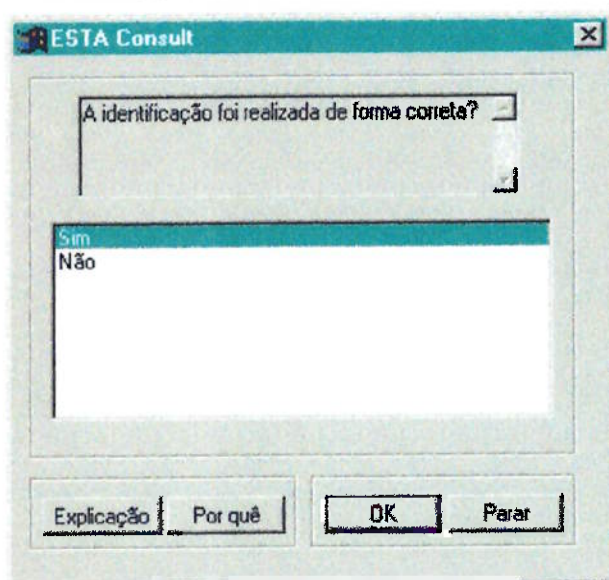
Nota: entre os sinais <> acima, se encontram breves descrições da função de cada linha na especificação de cada parâmetro.

A totalidade do código fonte do software se encontra disponível no final deste volume na forma de anexo, devido a sua extensão.

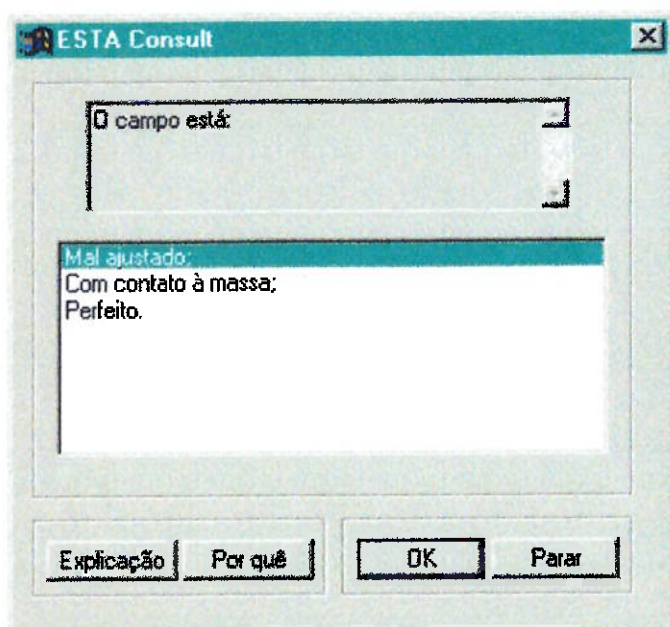
11.2 Exemplos das telas de navegação do programa

A seguir são apresentadas diversas telas do programa, buscou-se incluir uma de cada tipo disponível no software como forma de ilustrar a versatilidade que o mesmo possui:

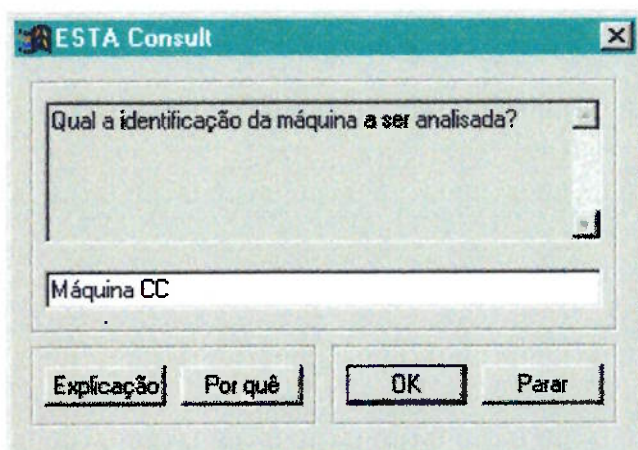
- Perguntas tipo SIM/NÃO:



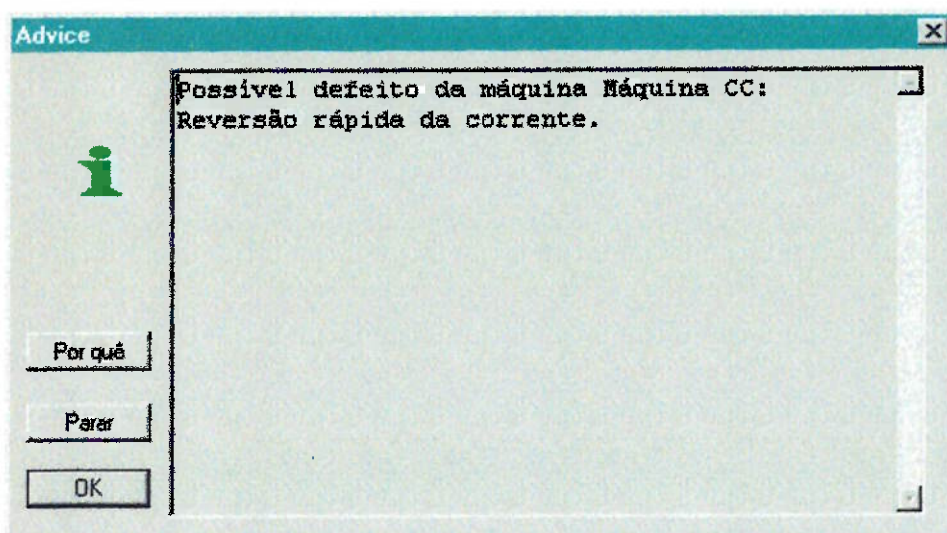
- Perguntas com várias alternativas:



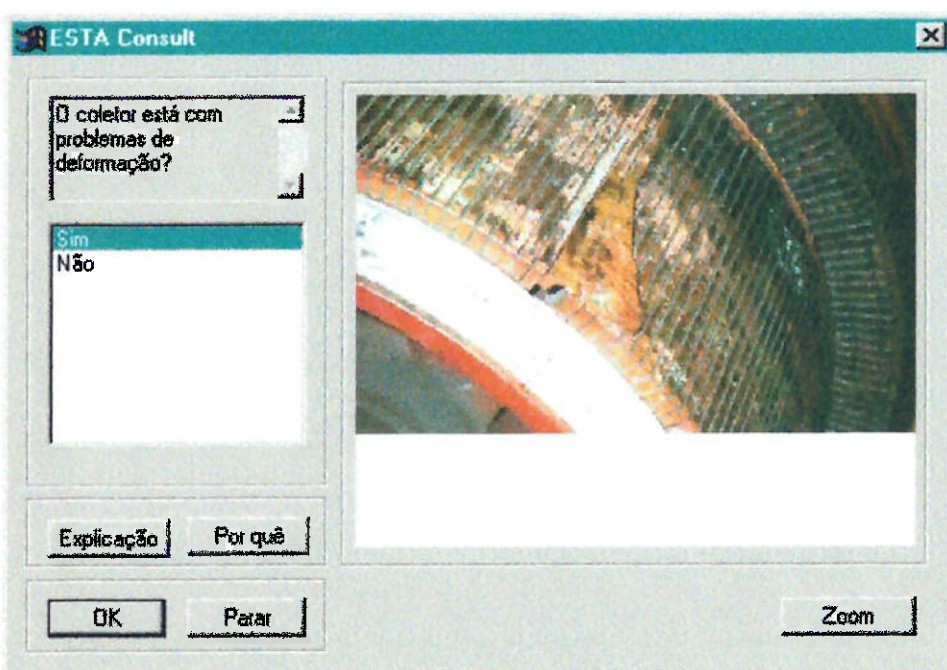
- Perguntas com entrada de texto:



- Identificação de defeitos:



- Perguntas com ilustrações:





12. Resultados Obtidos

12. Resultados Obtidos

Terminada toda a fase de programação do sistema especialista, o resultado geral obtido ficou totalmente em acordo com as expectativas iniciais.

A grande maioria das idéias foi implementada, contribuindo para o resultado esperado.

Algumas dificuldades podem ser relatadas:

- *Dificuldade em obter acervo visual sobre os defeitos em máquinas:* um ponto de frustração pode ser este, foi muito difícil conseguir junto a fabricantes e assistências técnicas um acervo de fotos e ilustrações suficientemente amplo que cobrissem grande parte dos defeitos identificados pelo sistema; os poucos que possuíam tal acervo, em sua maioria eram fotos que mostravam curtos (um dos muitos defeitos identificados). Isto posto, justifica o pequeno acervo de ilustrações utilizados no sistema.

- *Impossibilidade de se criar links para sites na internet:* depois de vários contatos com o fabricante da linguagem Visual Prolog, nos foi passado que esta linguagem, em sua versão atual, ainda não possui suporte a comandos em html (linguagem utilizada em sites da WWW), só há a capacidade – por parte do software – de “chamar” um aplicativo externo. Isto impediu que se implementasse a idéia de criar os links para os sites dos fabricantes na seção de Contratos com Fabricantes. A saída encontrada foi disponibilizar de forma textual o endereço do site ao usuário interessado.



13. Testes

13.1 Testes durante a programação

Durante toda a etapa de programação, conforme uma nova etapa ia sendo cumprida, todo o sistema era testado de forma integral, fazendo com que um defeito de programação fosse facilmente localizado e solucionado.

Dentro do próprio aplicativo ESTA, há uma opção na qual o software – depois de programado – desenha em forma de árvore o esquema de convergência das respostas, isto possibilitou a verificação de possíveis ramos divergentes na árvore.

Outra opção também utilizada, presente no aplicativo, foi uma rotina que percorre todo o banco de conhecimento criado em busca de parâmetros e seções que se encontram sem relações ou inutilizadas.

Em ambos testes, todos os sub-sistemas obtiveram resultados positivos, ou seja, estão livres de erros de programação.

13.2 Teste final do Sistema

Concluída a programação do sistema especialista, várias consultas foram simuladas, a fim de verificar possíveis erros no programa, vários caminhos diferentes foram seguindo, todos convergindo corretamente a suas soluções.

13.3 Teste de utilização

Devido ao curto período de tempo entre a finalização do projeto e o fechamento e a apresentação do mesmo, o tempo a realização destes testes ficou prejudicado. Alguns possíveis usuários, que tomaram contato com partes da ferramenta, expressaram reações diversas. Uns se mostraram meio desconfiados a utilização de uma máquina para executar tal tarefa, outros gostaram da idéia e tiveram aqueles que acharam que para um primeiro desenvolvimento o sistema estava ótimo e contribuíram com algumas idéias e possíveis melhorias para versões posteriores.



14. Possíveis Melhorias

São muitas as idéias que podem ser implementadas a fim de melhorar a versão atual do sistema. Uma que se mostra genial é a de disponibilizar do sistema via internet. Através desta idéia, muitos dos problemas se resolvem, como:

- *Atualização:* uma vez atualizado o sistema especialista do servidor, todo usuário que irá consultá-lo irá dispor da versão mais atual do sistema, com abrangência cada vez maior de defeitos;
- *Portabilidade:* para realizar a consulta ao sistema especialista o usuário só necessitará de um PC com acesso à internet e um software de navegação com suporte às linguagens atuais de programação em WWW; o usuário fica assim independente de plataforma, hardware ou sistema operacional para realizar a consulta.
- *Aumento do interesse do fabricante:* desta forma o fabricante pode oferecer este serviço como um produto extra, através do controle de acesso ao site, ou seja, somente clientes que adquirissem a senha de acesso poderiam realizar suas consultas; além de permitir que o fabricante personalize o sistema conforme suas necessidades.

Outra sugestão é o aumento do acervo de ilustrações que compõem o sistema, facilitando a utilização do mesmo por usuários iniciantes e inexperientes na função de identificação e manutenção de máquinas elétricas.

15. Conclusões

15. Conclusões

Como mencionado na seção de resultados, todos os objetivos traçados no início deste projeto foram alcançados, e as dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento foram contornadas em busca de uma solução mais adequada tanto para a programação como para a utilização do sistema.

O produto final realizado, como visualizado anteriormente, comprovou ter um grande potencial comercial, podendo caracterizar-se até como um produto, a ser comercializados por fabricantes e assistências técnicas especializadas à clientes que possuam grande quantidade de máquinas elétricas instaladas em suas plantas, e aos quais uma parada de uma dessas máquinas, principalmente por um longo período de tempo, resultassem em perdas e atrasos na produção irreparáveis.

Ao usuário o sistema especialista projetado também se mostra de grande utilidade, visto que reduz o tempo de identificação dos defeitos na máquina, facilitando o reparo pela equipe de manutenção local, ou até mesmo indicando à equipe de manutenção do fabricante o defeito presente, providenciando o reparo imediato do mesmo.



Bibliografia

- [1] Chapman, S. J. – Electric Machinery Fundamentals – 2nd edition – McGraw Hill, 1991.
- [2] Fitzgerald, A. E.; Kingsley Jr., C.; Umans, S. D. – Máquinas Elétricas – McGraw Hill, 1978.
- [3] Ariza, C. F. - Manutenção Corretiva de Máquinas Elétricas Rotativas – McGraw Hill, 1977.
- [4] Ariza, C. F. – Organização de Manutenção Eletro-eletrônica – McGraw Hill, 1978.
- [5] Vartanov, G.; Verner, V.; Serebriakov, V. – El Electricista de Reparaciones – MIR, 19XX.
- [6] WEG Motores – Instalação e Manutenção de Motores Elétricos – WEG, 1999.
- [7] General Electric – Manutenção de Motores e Geradores – G&E, 19XX.
- [8] Equacional Motores e Geradores – Motores de Indução Ensaio e Defeitos Vol.1 – Equacional, 1996
- [9] Equacional Motores e Geradores – Motores de Indução Ensaio e Defeitos Vol.2 – Equacional, 1998

et al.





I. Máquinas Rotativas em geral

MANCAIS DE BUCHAS

Manifestação	Causas Possíveis
Aquecimento do mancal	buchas muito justas deformação nas buchas deformação no eixo lubrificante inadequado rasgos de lubrificação estreitos entrada ou saída de lubrificante entupida falta de lubrificante lubrificante sujo buchas descentralizadas eixo descentralizado desbalanceamento no núcleo do rotor caixa das buchas descentralizada tampas descentralizadas
Vibração no eixo	buchas muito folgadas eixo muito desgastado buchas muito justas eixo deformado falta de lubrificação lubrificação deficiente buchas descentralizadas eixo descentralizado caixa de buchas descentralizada desbalanceamento no eixo tampas descentralizadas
Ruído no mancal	buchas muito justas buchas muito folgadas eixo com dimensão acima do nominal eixo desgastado buchas descentralizadas caixa das buchas descentralizadas tampas descentralizadas buchas deformadas lubrificante sujo lubrificação inadequada lubrificação deficiente eixo descentralizado desbalanceamento no eixo
Engripamento do mancal	buchas justas eixo com dimensões acima do normal buchas fora do centro caixa de buchas fora de centro tampas descentralizadas buchas deformadas lubrificação deficiente lubrificante sujo eixo descentralizado
Trepidação do eixo	buchas desgastadas eixo desgastado desbalanceamento no eixo

MANCAL DE ROLAMENTOS

<i>Manifestação</i>	<i>Causas Possíveis</i>
Aquecimento do mancal	eixo com dimensão acima do normal caixa suporte do rolamento c/ diâmetro abaixo da dimensão nominal graxa inadequada falta de graxa sujeira na graxa rolamento sujo montagem do mancal mal feita ponto de encosto no eixo, na dimensão errada blindagem ou separador de esferas deformado eixo com dimensão abaixo da nominal caixa de suporte do rolamento com diâmetro acima da nominal descentralização do mancal
Ruído no mancal	eixo com dimensão acima do normal caixa suporte do rolamento c/ diâmetro abaixo da dimensão nominal graxa inadequada falta de graxa sujeira na graxa rolamento sujo montagem do mancal mal feita ponto de encosto no eixo, na dimensão errada blindagem ou separador de esferas deformado eixo com dimensão abaixo da nominal caixa de suporte do rolamento com diâmetro acima da nominal descentralização do mancal desbalanceamento no rotor
Vibração do rotor e mancal	desbalanceamento do eixo ou rotor sujeira no rolamento graxa inadequada falta de graxa rolamento desgastado rolamento com encaixe muito justo no eixo rolamento com encaixe muito justo na caixa rolamento muito justo no sentido axial separador de esferas deformado ou rompido blindagem deformada descentralização do mancal
Trepidação do rotor e mancal	desbalanceamento do eixo ou rotor sujeira no rolamento graxa inadequada falta de graxa rolamento desgastado rolamento com encaixe muito justo no eixo rolamento com encaixe muito justo na caixa rolamento muito justo no sentido axial separador de esferas deformado ou rompido blindagem deformada descentralização do mancal
Engripamento do mancal	rolamento funcionando em condições ambientais desfavoráveis rolamento sem blindagem lubrificante inadequado falta de jogo axial sujeira no rolamento rolamento colocado com muita pressão no eixo rolamento colocado com muita pressão na caixa falta de lubrificante separador de esferas deformado ou rompido.

PARTES MECÂNICAS DO MOTOR

<i>Manifestação</i>	<i>Causas Possíveis</i>
Bases e fixação - Vibração	desnível da base base instável
Bases e fixação - Trepidação	parafusos de fixação soltos
Polias e acoplamentos - Vibração	polia desalinhada acoplamento desalinhado
Polias e acoplamentos - Trepidação	polia solta acoplamento solto
Polias e acoplamentos - Barulho	polia desgastada, correia patinando ou "bamba" amortecedor do acoplamento quebrado ou desgastado
Polias e acoplamentos - Partida com sobrecarga	polia desalinhada correia muito apertada acoplamento desalinhado acoplamento muito justo
Ventilação - Vibração	desbalanceamento das hélices entradas desiguais de ar
Ventilação - Trepidação	ventoinha solta no eixo ventoinha descentralizada
Ventilação - Aquecimento	entradas desiguais de ar ventoinha solta no eixo filtro de ar entupido circuito elétrico do ventilador com defeito

GERADOR C.A. COM EXCITAÇÃO C.C. SEPARADA

Manifestações	Causas Possíveis
Tensão de saída não atinge a nominal	curto entre espiras no induzido curto entre anéis coletores tensão de excitação abaixo da nominal má superfície de contato nos terminais de ligação de alimentação má superfície de contato nos anéis escovas presas na caixa do porta-escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas escovas com muita queda de tensão pouca ou muita umidade na atmosfera contaminação dos anéis com substâncias estranhas riscos ou sulcos nos anéis anel não perpendicular com relação ao eixo escovas muito pequena no comprimento anéis excêntricos ou ovalizados anéis com diâmetro muito pequeno pouca pressão nas escovas induzido à massa anéis à massa porta-escovas à massa desbalanceamento dinâmico do rotor desbalanceamento magnético do estator
Tensão de saída ultrapassa a nominal	espiras do indutor em curto tensão de excitação muito alta
Frequência abaixo da nominal	acoplamento com o gerador defeituoso rotor raspando no estator sobrecarga curto-circuito nos enrolamentos do induzido interrupção nos enrolamentos do induzido anéis excêntricos ou ovalizados desbalanceamento dinâmico do rotor mancal engripado mancal desgastado pouca pressão nas escovas escovas presas na caixa do porta-escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas
Frequência acima da nominal	má superfície de contato em ligações no indutor ligações erradas nos terminais do enrolamento induzido com os anéis ligação errada nos pólos do estator
Forma de onda anormal	má superfície de contato em ligações no indutor acoplamento de acionamento do gerador, defeituoso, com folga sobrecarga curtos ou massas no gerador má superfície de contato nos anéis ligações erradas nos anéis má superfície de contato em ligações
Gerador não "aguenta" a carga	interrupção no indutor (se paralelo) interrupção no induzido falta de tensão de excitação escovas presas na caixa do porta-escovas curtos no indutor curtos no induzido má superfície de contato nos anéis muita queda de tensão nas escovas contaminação no filme má superfície de contato em ligações riscos ou sulcos nos anéis anéis excêntricos ou ovalizados pouca pressão nas escovas escovas presas na caixa do porta-escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas anel não perpendicular com relação ao eixo
Gerador não gera tensão nenhuma	falta de tensão de alimentação da excitação interrupção no enrolamento indutor (quando série) interrupção no enrolamento induzido falta total de contato na comutação

GERADOR C.A. COM EXCITAÇÃO C.A. SEPARADA

Manifestações

Causas Possíveis

Tensão de saída não atinge a nominal	curto entre espiras no induzido curto entre lâminas no coletor tensão de excitação abaixo da nominal má superfície de contato nos terminais de ligação da alimentação má superfície de contato no coletor escovas presas na caixa do porta-escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas escovas com muita queda de tensão pouca ou muita umidade na atmosfera contaminação do coletor com substância estranha lâmina alta ou baixa do coletor mica alta no coletor escova com consumo excessivo, ou seja, muito pequena coletor excêntrico ou ovalizado coletor muito pequeno pouca pressão nas escovas induzido à massa coletor à massa porta-escovas à massa desbalanceamento dinâmico do rotor desbalanceamento magnético do estator
Tensão de saída ultrapassa a nominal	espiras do indutor em curto tensão de excitação muito alta
Frequência abaixo da nominal	acoplamento com gerador, defeituoso rotor raspando no estator sobrecarga curto-circuito nos enrolamentos do induzido frequência de excitação baixa interrupção nos enrolamentos do induzido coletor excêntrico ou ovalizado desbalanceamento dinâmico do rotor mancal engripado mancal desgastado pouca pressão nas escovas escovas presas na caixa do porta-escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas
Frequência acima da nominal	frequência de excitação acima da nominal ligações erradas nos terminais do enrolamento induzido com o coletor ligação errada nos pólos do estator
Forma de onda anormal	forma anormal de onda da alimentação de excitação acoplamento de acionamento do gerador, defeituoso, com folga sobrecarga curtos ou massas no gerador má superfície de contato no coletor ligações erradas no coletor má superfície de contato em ligações
Gerador não "aguenta" a carga	interrupção no indutor (se paralelo) interrupção no induzido falta de tensão de excitação escovas presas na caixa do porta-escovas curtos no indutor curtos no induzido má superfície de contato no coletor muita queda de tensão nas escovas contaminação no filme má superfície de contato em ligações mica alta no coletor coletor excêntrico ou ovalizado pouca pressão nas escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas
Gerador não gera tensão nenhuma	falta de tensão de alimentação da excitação interrupção no enrolamento indutor (quando série) interrupção no enrolamento induzido falta total de contato na comutação

MÁQUINA DE CORRENTE CONTÍNUA (motor shunt)

Manifestação	Causas Possíveis
Motor não parte quando acionada a chave	escovas muito sujas ou desgastadas coletor muito sujo ou em curto circuito do rotor interrompido circuito do rotor em curto circuito do campo interrompido circuito do campo totalmente em curto mancais muito justos mancais muito desgastados porta-escova em contato com a massa sobrecarga mecânica acoplamento muito justo polias com correias muito esticadas voltagem muito baixa na alimentação falta ou insuficiência de lubrificação mancais engripados ou deficientes ventilador raspando na tampa grande desbalanceamento dinâmico do rotor lâmina do coletor ressaltando, freando o motor com a escova escovas muito justas no porta-escovas, não fazendo contato no coletor escovas fora de posição ligação errada dos terminais
Motor só funciona em velocidade baixa	má superfície de contato nas escovas má superfície de contato nos terminais das ligações no coletor má superfície de contato formado por semi-interrupções nos enrolamentos de comutação curto-circuito entre espiras do campo shunt porta-escovas fora de posição bobinas do rotor em curto-circuito coletor em curto-circuito mancais desgastados interrupção em bobinas do rotor sobrecarga mecânica tensão abaixo do normal para a velocidade requerida correias muito esticadas acoplamento muito justo mancais muito justos deficiência de lubrificação deficiência na centralização dos mancais desbalanceamento magnético
Motor tem velocidade acima da nominal	interrupção nas bobinas do campo shunt mau contato nas ligações dos terminais do campo shunt campo de compensação ineficiente ou em curto semi-interrupção nas bobinas do campo shunt sobrecarga, causando reação do induzido
Muitas centelhas no coletor, acima do normal	mau contato das escovas coletor sujo interrupção no circuito do rotor campo com contato à massa ou em curto-circuito enrolamento de comutação com ligação invertida super ou subcomutação desbalanceamentos no rotor mancais desgastados descentralização dos mancais ligações invertidas das bobinas do rotor no coletor escovas mal colocadas no porta-escovas ou porta-escovas muito justo ou muito folgado interrupção no circuito do campo shunt lâminas do coletor, altas ou baixas coletor excêntrico micas altas no coletor má superfície de contato na ligação das bobinas do rotor com o coletor sobrecarga mecânica reversão rápida em máquinas sem campo de comutação escovas fora de posição campo mal ajustado (entreferro) velocidade angular variável saturação magnética dos pólos de comutação

	base frouxa ou instável polia solta ou correias muito folgadas entradas desiguais de ar ângulo incorreto das escovas pressão incorreta das escovas pontos achatados ou queimados no coletor filme muito espesso no coletor fator de comutação das escovas muito baixo queda de tensão na escova muito baixa falta de filme no coletor contaminação com silicone do coletor má preparação da superfície do coletor pó ou retalhos de mica na superfície do coletor escovas com densidade de corrente muito baixa atmosfera contaminada umidade do ar muito baixa queda de tensão na escova muito alta escova com falta de propriedade da formação do filme escova com falta de ação polidora escova mal ajustada umidade do ar muito alta
Motor funciona com muito ruído	mancais desgastados rotor desbalanceado mancais descentralizados correias muito esticadas acoplamentos justos mancais muito justos falta ou deficiência de lubrificação base frouxa ou instável entradas desiguais de ar lâminas altas ou baixas coletor excêntrico ou deformado estecas soltas no rotor ou estator folga muito grande entre porta-escovas e escovas falta da formação do filme sobre o coletor poeira abrasiva no ambiente mica alta no coletor desequilíbrio no campo magnético sobrecarga mecânica pressão insuficiente da mola do porta-escova escovas fora da posição neutra sulcos no coletor sujeira no coletor motor muito sujo
Vibração no motor	mancais desgastados mancais descentralizados mancais muito justos rotor desbalanceado correias muito esticadas correias muito folgadas acoplamentos justos em demasia acoplamento folgado ou desalinhado falta ou deficiência na lubrificação base frouxa ou instável entradas desiguais de ar lâminas do coletor altas ou baixas coletor excêntrico ou deformado estecas soltas no rotor mica alta no coletor desequilíbrio do campo magnético sobrecarga mecânica escovas fora da posição de partida sujeira no motor
A velocidade não é constante	curtos intermitentes no campo curtos intermitentes no rotor escovas de baixo tendendo a soltar superfície imperfeita do coletor escovas justas no porta-escovas subcomutação campo magnético desbalanceado com intermitência baixa isolamento nos enrolamentos do campo baixa isolamento nos enrolamentos do rotor

	mancais justos mancais desgastados mancais descentralizados correias muito esticadas acoplamento muito justos molas do porta-escovas sem pressão sobrecarga mecânica
Motor funcionando muito aquecido	sobrecarga mecânica má superfície de contato nas escovas coletor sujo interrupção no circuito do rotor enrolamentos de comutação com ligação invertida reversão rápida da corrente mancais desgastados ligação invertida das bobinas do rotor no coletor interrupção no circuito do campo shunt coletor excêntrico má superfície de contato na ligação das bobinas do rotor com o coletor reversão rápida em máquina sem interpólos campo mal ajustado saturação magnética dos pólos de comutação polia solta ou correias muito folgadas ângulo incorreto das escovas pontos achatados ou queimados no coletor fator de comutação das escovas muito baixo falta de filme no coletor má preparação da superfície do coletor escovas com densidade de corrente muito baixa umidade do ar muito baixa escova com falta de propriedade da formação do filme escova mal ajustada campo com contato à massa super ou subcomutação desbalanceamento no rotor descentralização dos mancais escovas mal colocadas no porta-escovas ou porta-escovas muito justo ou folgado lâminas do coletor altas ou baixas micas altas no coletor escovas fora de posição velocidade angular variável base frouxa ou instável entradas desiguais de ar pressão incorreta das escovas filme muito espesso no coletor queda de tensão na escova muito baixa contaminação do coletor com silicone pó ou retalhos de mica no coletor atmosfera contaminada queda de tensão na escova muito alta escova com falta de ação polidora umidade do ar muito alta bobinas do campo em curto-circuito bobinas do rotor em curto-circuito pressão excessiva das escovas deficiência de ventilação deficiência de lubrificação
Motor pára depois de funcionar por pouco tempo	baixa tensão para partida curtos ou massas
Motor tenta partir, mas os relés atuam	umidade fechando curto-circuito nos enrolamentos mancais muito justos mancais descentralizados sujeira ou obstrução no rotor sobrecarga mecânica correias muito esticadas acoplamentos muito justos falta ou deficiência de lubrificação

MÁQUINA DE CORRENTE CONTÍNUA (motor série)

Manifestação	Causas Possíveis
Motor não parte ao ser acionada a chave partida	circuito da armadura interrompido circuito do campo interrompido mancais muito justos mancais muito desgastados (rotor raspando) sobrecarga mecânica acoplamento muito justo (axialmente) correias muito esticadas baixa voltagem de alimentação falta ou insuficiência de lubrificação mancais engripados ventilador frenado na tampa circuito da armadura em curto ou à massa circuito do campo totalmente em curto ou à massa coletor em curto grande resistência em série na comutação porta-escovas à massa lâmina do coletor ressaltada frenando o motor escovas fora de posição ligação errada dos terminais do motor campo de comutação interrompido
Velocidade muito baixa	grande resistência em série na comutação mau contato nos terminais do motor semi-interrupção no campo série ou armadura ou campo de comutação porta-escovas fora de posição bobinas da armadura em curto coletor em curto mancais desgastados (rotor raspando) sobrecarga mecânica tensão abaixo da nominal correias muito esticadas acoplamento muito justo (axialmente) mancais muito justos deficiência de lubrificação desbalanceamento magnético
Motor dispara (alta velocidade)	falta de carga parte do campo série em curto tensão acima da nominal
Centelhas em excesso no coletor	mau contato das escovas coletor sujo interrupção no circuito do rotor campo com contato à massa ou em curto-circuito enrolamento de comutação com ligação invertida super ou subcomutação desbalanceamentos no rotor mancais desgastados descentralização dos mancais ligações invertidas das bobinas do rotor no coletor escovas mal colocadas no porta-escovas ou porta-escovas muito justo ou muito folgado lâminas do coletor, altas ou baixas coletor excêntrico micas altas no coletor má superfície de contato na ligação das bobinas do rotor com o coletor sobrecarga mecânica reversão rápida em máquinas sem campo de comutação escovas fora de posição campo mal ajustado (entreferro) velocidade angular variável saturação magnética dos pólos de comutação

	base frouxa ou instável polia solta ou correias muito folgadas entradas desiguais de ar ângulo incorreto das escovas pressão incorreta das escovas pontos achatados ou queimados no coletor filme muito espesso no coletor fator de comutação das escovas muito baixo queda de tensão na escova muito baixa falta de filme no coletor contaminação com silicone do coletor má preparação da superfície do coletor pó ou retalhos de mica na superfície do coletor escovas com densidade de corrente muito baixa atmosfera contaminada umidade do ar muito baixa queda de tensão na escova muito alta escova com falta de propriedade da formação do filme escova com falta de ação polidora escova mal ajustada umidade do ar muito alta
Muito ruído com o motor em funcionamento	mancais desgastados rotor desbalanceado mancais descentralizados correias muito esticadas acoplamentos justos mancais muito justos falta ou deficiência de lubrificação base frouxa ou instável entradas desiguais de ar lâminas altas ou baixas coletor excêntrico ou deformado estecas soltas no rotor ou estator folga muito grande entre porta-escovas e escovas falta da formação do filme sobre o coletor poeira abrasiva no ambiente mica alta no coletor desequilíbrio no campo magnético sobrecarga mecânica pressão insuficiente da mola do porta-escova escovas fora da posição neutra sulcos no coletor sujeira no coletor motor muito sujo
Vibração no motor	mancais desgastados mancais descentralizados mancais muito justos rotor desbalanceado correias muito esticadas correias muito folgadas acoplamentos justos em demasia acoplamento folgado ou desalinhado falta ou deficiência na lubrificação base frouxa ou instável entradas desiguais de ar lâminas do coletor altas ou baixas coletor excêntrico ou deformado estecas soltas no rotor mica alta no coletor desequilíbrio do campo magnético sobrecarga mecânica escovas fora da posição de partida sujeira no motor falta de carga

	tensão acima da nominal
Motor funciona muito aquecido	sobrecarga mecânica
	má superfície de contato nas escovas
	coletor sujo
	interrupção no circuito do rotor
	enrolamentos de comutação com ligação invertida
	reversão rápida da corrente
	mancais desgastados
	ligação invertida das bobinas do rotor no coletor
	interrupção no circuito do campo shunt
	coletor excêntrico
	má superfície de contato na ligação das bobinas do rotor com o coletor
	reversão rápida em máquina sem interpólos
	campo mal ajustado
	saturação magnética dos pólos de comutação
	polia solta ou correias muito folgadas
	ângulo incorreto das escovas
	pontos achatados ou queimados no coletor
	fator de comutação das escovas muito baixo
	falta de filme no coletor
	má preparação da superfície do coletor
	escovas com densidade de corrente muito baixa
	umidade do ar muito baixa
	escova com falta de propriedade da formação do filme
	escova mal ajustada
	campo com contato à massa
	super ou subcomutação
	desbalanceamento no rotor
	descentralização dos mancais
	escovas mal colocadas no porta-escovas ou porta-escovas muito justo ou folgado
	lâminas do coletor altas ou baixas
	micas altas no coletor
	escovas fora de posição
	velocidade angular variável
	base frouxa ou instável
	entradas desiguais de ar
	pressão incorreta das escovas
	filme muito espesso no coletor
	queda de tensão na escova muito baixa
	contaminação do coletor com silicone
	pó ou retalhos de mica no coletor
	atmosfera contaminada
	queda de tensão na escova muito alta
	escova com falta de ação polidora
	umidade do ar muito alta
	bobinas do campo em curto-circuito
	bobinas do rotor em curto-circuito
	pressão excessiva das escovas
	deficiência de ventilação
	deficiência de lubrificação
Motor pára após pouco tempo de operação	baixa tensão para partida curtos ou massas
Motor tenta partir, mas os relés atuam	umidade fechando curto-circuito nos enrolamentos
	mancais muito justos
	mancais descentralizados
	sujeira ou obstrução no rotor
	sobrecarga mecânica
	correias muito esticadas
	acoplamentos muito justos
	falta ou deficiência de lubrificação

GERADOR C.C. COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE EM C.C.

Manifestações

Causas Possíveis

Variação de tensão de saída com carga	- variação na tensão de excitação - má superfície de contato nas conexões de alimentação de excitação - má superfície de contato no reostato de excitação - má superfície de contato no coletor - escovas presas na caixa do porta-escovas - escovas com muita queda de tensão - flexível da escova com má superfície de contato - curtos ou massas no enrolamento do induzido - curtos ou massas no enrolamento do indutor - coletor à massa ou em curto - pouca pressão nas escovas - escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas - desbalanceamento dinâmico do rotor - mancais desgastados - descentralização da parte rotativa - coletor excêntrico - lâminas altas ou baixas no coletor - ventilação insuficiente ou defeituosa - sobrecarga - mica saliente no coletor - mancal engripado
Não há geração de tensão	- sentido invertido de rotação - falta de excitação - posição errada das escovas - interrupção no enrolamento indutor - interrupção no enrolamento induzido - má superfície de contato no coletor - escovas presas na caixa do porta-escovas - escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas - curto-circuito ou massa no enrolamento induzido - reostato interrompido
Variação de tensão de saída sem carga	- variação na tensão de excitação - má superfície de contato nas conexões de alimentação de excitação - má superfície de contato no reostato de excitação - má superfície de contato no coletor - escovas presas na caixa do porta-escovas - coletor excêntrico - flexível da escova com má superfície de contato - curtos ou massas no enrolamento do induzido - curtos ou massas no enrolamento do indutor - coletor à massa ou em curto - pouca pressão nas escovas - escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas - desbalanceamento ou descentralização da parte rotativa - lâminas altas ou baixas no coletor - mica saliente no coletor
Excesso de centelhas	- inversão na ligação de pólos auxiliares - pólos auxiliares em curto - má superfície de contato do coletor ou escovas - escovas com pouca ou muita pressão - escovas presas na caixa do porta-escovas - curtos ou massas no enrolamento do induzido - curtos ou massas no enrolamento do indutor - escovas fora de posição - encaixe imperfeito da escova na superfície de contato do coletor - coletor excêntrico - escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas

	desbalanceamento ou descentralização da parte rotativa ventilação insuficiente ou defeituosa lâminas altas ou baixas no coletor sobrecarga má qualidade das escovas pouca ou muita umidade na atmosfera contaminação do filme no coletor mica saliente no coletor curtos ou massas no coletor superfície imperfeita do coletor desbalanceamento magnético excessiva tensão de excitação ângulo errado das escovas mancal engripado erros de ligação nos terminais do coletor
Funcionamento ruidoso	mancal engripado mancal desgastado rotor raspando no estator desbalanceamento dinâmico do rotor descentralização da parte rotativa entradas desiguais de ar coletor excêntrico base solta ou instável lubrificação deficiente vibrações externas ventilador desbalanceado

GERADOR C.C. COM AUTO-EXCITAÇÃO

Manifestações

Causas Possíveis

Varição de tensão de saída com carga	deficiência do magnetismo residual má superfície de contato nos terminais de conexão da auto-excitação má superfície de contato no reostato de auto-excitação má superfície de contato no coletor escovas presas na caixa do porta-escovas queda de tensão muito alta nas escovas flexível da escova com má superfície de contato curtos ou massas no enrolamento do induzido curtos ou massas no enrolamento do indutor coletor à massa ou em curto pouca pressão nas escovas desbalanceamento dinâmico do rotor mancais desgastados descentralização da parte rotativa coletor excêntrico lâminas do coletor altas ou baixas ventilação insuficiente ou defeituosa sobrecarga mica saliente no coletor mancal engripado
Não há geração de tensão	falta do magnetismo residual interrupção no enrolamento indutor interrupção no enrolamento induzido sentido de rotação invertido posição errada das escovas má superfície de contato no coletor escovas presas na caixa do porta-escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas curtos ou massas no enrolamento do induzido curtos ou massas no enrolamento do indutor reostato interrompido
Varição de tensão de saída com carga	deficiência do magnetismo residual má superfície de contato nos terminais de conexão da auto-excitação má superfície de contato no reostato de auto-excitação má superfície de contato no coletor escovas presas na caixa do porta-escovas coletor excêntrico flexível da escova com má superfície de contato curtos ou massas no enrolamento do induzido coletor à massa ou em curto pouca pressão nas escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas desbalanceamento ou descentralização da parte rotativa lâminas do coletor altas ou baixas mica saliente no coletor mancal engripado
Excesso de centelhas	inversão na ligação de pólos auxiliares pólos auxiliares em curto má superfície de contato do coletor ou escovas escovas com pouca ou muita pressão escovas presas na caixa do porta-escovas curtos ou massas no enrolamento do induzido curtos ou massas no enrolamento do indutor escovas fora de posição encaixe imperfeito da escova na superfície de contato do coletor coletor excêntrico escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas

	desbalanceamento ou descentralização da parte rotativa
	ventilação insuficiente ou defeituosa
	lâminas altas ou baixas no coletor
	sobrecarga
	má qualidade das escovas
	pouca ou muita umidade na atmosfera
	contaminação do filme no coletor
	mica saliente no coletor
	curtos ou massas no coletor
	superfície imperfeita do coletor
	desbalanceamento magnético
	excessiva tensão de excitação ângulo errado das escovas
	mancal engripado
	erros de ligação nos terminais do coletor
Funcionamento ruidoso	mancal engripado
	mancal desgastado
	rotor raspando no estator
	desbalanceamento dinâmico do rotor
	descentralização da parte rotativa
	entradas desiguais de ar
	coletor excêntrico
	base solta ou instável
	lubrificação deficiente
	vibrações externas
	ventilador desbalanceado

GERADOR C.C. COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE COM C.A.

Manifestações	Causas Possíveis
Variação de tensão de saída com carga	variação na tensão de excitação má superfície de contato nas conexões de alimentação de excitação má superfície de contato no reostato de excitação má superfície de contato nos anéis escovas presas na caixa do porta-escovas escovas com muita queda de tensão flexível da escova com má superfície de contato curtos ou massas no enrolamento do induzido curtos ou massas no enrolamento do indutor anéis em massa ou em curto pouca pressão nas escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas desbalanceamento dinâmico do rotor mancais desgastados descentralização da parte rotativa anéis deformados ventilação insuficiente ou defeituosa mancal engripado
Não há geração de tensão	sentido invertido de rotação falta de excitação posição errada das escovas interrupção no enrolamento do indutor interrupção no enrolamento do induzido má superfície de contato nos anéis escovas presas na caixa do porta-escovas escovas soltas na caixa do porta-escovas curtos ou massas no enrolamento do induzido reostato interrompido
Excesso de centelhas	variação na tensão de excitação má superfície de contato nas conexões de alimentação de excitação má superfície de contato no reostato de excitação má superfície de contato nos anéis escovas presas na caixa do porta-escovas anéis excêntricos flexível da escova com má superfície de contato curtos ou massas no enrolamento do induzido curtos ou massas no enrolamento do indutor anéis em massa ou em curto pouca pressão nas escovas escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas desbalanceamento ou descentralização da parte rotativa superfície deformada nos anéis mancal engripado
Excesso de centelhas	inversão na ligação dos pólos auxiliares pólos auxiliares em curto má superfície de contato nos anéis ou escovas escovas com muita pressão no porta-escovas escovas presas na caixa do porta-escovas curtos ou massas no enrolamento do induzido curtos ou massas no enrolamento do indutor escovas fora de posição encaixe perfeito da escova na superfície de contato dos anéis anéis excêntricos escovas muito folgadas na caixa do porta-escovas desbalanceamento ou descentralização da parte rotativa ventilação insuficiente ou defeituosa superfície deformada nos anéis sobrecarga

	má qualidade das escovas
	pouca ou muita umidade na atmosfera
	contaminação do filme nos anéis
	curtos ou massas nos anéis
	riscos ou sulcos nos anéis
	desbalanceamento magnético
	excessiva tensão de excitação
	ângulo errado das escovas
	mancal engripado
Funcionamento ruidoso	mancal engripado
	mancal desgastado
	rotor raspando no estator
	desbalanceamento dinâmico do rotor
	descentralização da parte rotativa
	entradas desiguais de ar
	anéis excêntricos ou ovalizados
	base solta ou instável
	lubrificação deficiente
	vibrações externas
	ventilador desbalanceado

MOTOR ASSÍNCRONO - ROTOR GAIOLA

Manifestações	Causas Possíveis
Motor não parte ao ser energizado	falta de contato na ligação dos terminais em duas fases dois dos fios terminais do motor rompidos condutor rompido no enrolamento de duas fases enrolamento das três fases à massa ligação errada nos enrolamentos dos pólos do campo vergalhões totalmente interrompidos no rotor
Motor provoca ruído "ronco", eixo gira lentamente	má superfície de contato nos terminais de ligação um dos fios terminais de ligação do motor, interrompido condutor rompido no enrolamento de uma das fases enrolamento com baixa isolamento ou à massa ligação errada nos enrolamentos dos pólos do campo curto entre espiras de uma fase curto-circuito entre fases diferença de entreferro mancais engripados gaiola rotórica com vergalhões interrompidos ventilador raspando na tampa estecas soltas prendendo parcialmente o rotor sujeira no motor desbalanceamento dinâmico do rotor
Motor aquece muito, "puxa" muita corrente	enrolamento à massa espiras parcialmente em curto rotor raspando no estator vergalhão rompido no rotor falta de ventilação mancais com falta de lubrificação estecas soltas raspando no rotor sujeira prendendo o motor baixa isolamento entre enrolamentos de fases distintas baixa isolamento entre enrolamentos e massa desbalanceamento dinâmico do rotor lubrificação deficiente nos mancais temperatura ambiente muito alta entrada de ar obstruída
Motor não "aguenta" carga, reduz velocidade	baixa isolamento entre espiras de mesma fase má superfície de contato em ligações internas ou externas vergalhão partido na gaiola rotórica baixa isolamento entre enrolamentos e massa diferença de entreferro causada por descentralização do rotor sobrecarga
Motor provoca um silvo durante o funcionamento	pacote de chapas do núcleo do campo, solto deformação no ventilador que existe na cabeça da gaiola rotórica sujeira no motor rotor raspando no estator falta de lubrificação nos mancais entrada de ar parcialmente obstruída
Motor não parte e dasarma o relé ou queima fusível	curtos entre enrolamentos de fases distintas duas fases à massa mancais engripados curto total entre espiras de mesma fase sobrecarga terminais em curto ou à massa sujeira "prendendo" o motor descentralização do rotor

MOTOR ASSÍNCRONO - ROTOR BOBINADO (ANÉIS)

Manifestações

Causas Possíveis

Motor não parte ao ser energizado	falta de contato na ligação dos terminais em duas fases dois dos fios terminais do estator rompidos condutor rompido no enrolamento estatórico em duas fases enrolamento estatórico das três fases à massa ligação errada nos terminais dos enrolamentos estatóricos interrupção nos enrolamentos do rotor, no mínimo em duas fases má superfície de contato nos anéis escovas presas no porta-escovas má superfície de contato na ligação dos flexíveis das escovas condutores rompidos na ligação entre anéis e reostato reostato interrompido ou com má superfície de contato pouca pressão nas escovas
Motor ruidoso "ronco", eixo gira lentamente	má superfície de contato nos terminais de ligação um dos fios terminais do motor, rompido condutor rompido no enrolamento de uma das fases enrolamento com baixa isolamento ou à massa ligação errada nos enrolamentos dos pólos do campo curto entre espiras de uma fase curto-circuito entre fases diferença de entreferro mancais engripados enrolamento do rotor, interrompido anéis com má superfície de contato escovas presas no porta-escovas má superfície de contato na ligação dos flexíveis das escovas condutores rompidos entre anéis e reostato reostato interrompido ou com má superfície de contato pouca pressão nas escovas ventilador raspando e perdendo na tampa do motor estecas soltas prendendo parcialmente o rotor sujeira no motor desbalanceamento dinâmico do rotor
Motor aquece muito, "puxa" muita corrente	enrolamento à massa espiras do campo parcialmente em curto rotor raspando no estator má superfície de contato nos anéis escovas presas no porta-escovas má superfície de contato na ligação dos flexíveis das escovas má superfície de contato nas ligações dos anéis ao reostato Tapiz de fechamento em estrela das resistências do reostato, com má superfície de contato ou interrompido falta de ventilação mancais com falta de lubrificação estecas soltas raspando entre estator e rotor sujeira prendendo o rotor baixa isolamento entre enrolamentos de fases distintas baixa isolamento entre enrolamentos do rotor e massa baixa isolamento entre enrolamentos do estator e massa desbalanceamento dinâmico do rotor temperatura ambiente acima do limite normal entrada de ar obstruída
Motor não "aguenta" carga, reduz velocidade	baixa isolamento entre espiras de mesma fase má superfície de contato em ligações internas ou externas do estator má superfície de contato nos anéis escovas presas no porta-escovas pouca pressão nas escovas má superfície de contato na ligação dos flexíveis das escovas má superfície de contato na ligação que chega até o reostato

	reostato interrompido ou com má superfície de contato ligação que chega até o reostato, com fio interrompido enrolamento do rotor, semi-interrompido baixa isolamento entre enrolamentos e massa diferença de entreferro causada por descentralização do rotor sobrecarga
Motor provoca um silvo durante o funcionamento	pacote de chapas do núcleo, solto deformação no ventilador sujeira no motor rotor raspando no estator falta de lubrificação nos mancais entrada de ar parcialmente obstruídas
Motor não parte e dasarma o relé ou queima fusível	curtos entre enrolamentos de fases distintas duas fases à massa mancais engripados curto total entre espiras de mesma fase do estator curto total entre espiras de mesma fase do rotor sobrecarga curto ou massa nos terminais do estator curto ou massa nos terminais do rotor sujeira prendendo o rotor descentralização do rotor curto nos anéis curto nas escovas curto nos fios de ligação que chegam ao reostato curto entre flexíveis das escovas reostato em curto

MOTOR MONOFÁSICO - fase dividida

Manifestações

Causas Possíveis

Motor não parte ao ser acionado	circuitos interrompidos curto-circuitos nas espiras inversões de polaridade enrolamentos à massa sobrecarga excessiva mancais desgastados mancais engripados ou muito justos descentralização do rotor condensador defeituoso barras do rotor interrompidas ou soltas ligações erradas defeitos no dispositivo de partida
Motor parte, ruidoso e não atinge velocidade nominal	curto entre os enrolamentos dispositivo de partida não aciona baixa tensão de linha má superfície de contato em ligações sujeiras no motor mancais desgastados, com o rotor raspando no estator mancais muito justos barras do rotor interrompidas ou soltas dispositivo de partida com contatos soldados condensador defeituoso
Motor não "aguenta" carga	curto no enrolamento de serviço pólos invertidos do enrolamento de serviço ligações erradas no estator mancais desgastados barras do rotor soltas ou interrompidas mancais muito justos lubrificação ineficiente falta de ventilação dispositivo de partida permanentemente ligando o enrolamento auxiliar
Motor parte, mas desarma o relé	curto entre enrolamento auxiliar e de serviço enrolamento à massa mancal engripado dispositivo de curto frenando o rotor ou à massa condensador em curto sobrecarga
Motor parte, mas aquece durante funcionamento	enrolamento em curto enrolamento à massa curto entre os enrolamentos auxiliar e de serviço mancais desgastados lubrificação ineficiente mancais justos ou engripados sobrecarga barra solta ou interrompida no rotor dispositivo de partida não desliga o enrolamento auxiliar

MOTOR MONOFÁSICO - universal

Manifestações	Causas Possíveis
Motor não parte ao ser acionado	interrupção em bobinas do campo ligação invertida má superfície de contato no coletor escovas presas no porta-escovas sobrecarga excessiva mancais desgastados mancais engripados ou muito justos descentralização do rotor coletor muito pequeno coletor ovalizado mica alta no coletor circuitos interrompidos curtos nos enrolamentos do rotor escovas desgastadas ou sem pressão
Motor parte, ruidoso e não atinge velocidade nominal	coletor com má superfície de contato escovas presas no porta-escovas bobinas do estator em curto-circuito bobinas do rotor em curto-circuito mau posicionamento das escovas mancais desgastados mancais muito justos coletor excêntrico ou ovalizado coletor muito pequeno escovas desgastadas ou sem pressão
Motor não "aguenta" carga	bobinas do campo em curto enrolamento do rotor em curto mancais desgastados escovas desgastadas ou sem pressão curto no coletor mica alta no coletor má superfície de contato no coletor escovas presas no porta-escovas má superfície de contato em ligações enrolamentos à massa enrolamento do rotor interrompido
Motor parte, mas desarma o relé	enrolamento do campo em curto enrolamentos à massa enrolamento do rotor à massa mancal engripado escovas presas no porta-escovas má superfície de contato no coletor mica alta no coletor desbalanceamento dinâmico no rotor escovas desgastadas ou sem pressão enrolamento do rotor em curto
Motor parte, mas aquece durante funcionamento	mancais engripados mancais muito justos lubrificação deficiente enrolamentos em curto sobrecarga escovas fora de posição má superfície de contato no coletor escovas desgastadas ou sem pressão má superfície de contato em ligações tensão de alimentação inadequada

MOTOR MONOFÁSICO - repulsão

Manifestações	Causas Possíveis
Motor não parte ao ser acionado	interrupção em bobinas do campo ligação invertida má superfície de contato no coletor escovas presas no porta-escovas sobrecarga excessiva mancais desgastados dispositivo de curto-circuito deformado mancais engripados coletor muito pequeno descentralização do rotor coletor ovalizado mica alta no coletor circuito interrompidos curtos nos enrolamentos do rotor escovas desgastadas ou sem pressão
Motor parte, ruidoso e não atinge velocidade nominal	má superfície de contato no coletor escovas presas no porta-escovas bobinas em curto-circuito no estator bobinas em curto-circuito no rotor mau posicionamento das escovas dispositivo de curto defeituoso mancais desgastados mancais muito justos coletor excêntrico ou ovalizado coletor muito pequeno escovas desgastadas ou sem pressão
Motor não "aguenta" carga	dispositivo de curto com má superfície de contato escovas presas no porta-escovas mica alta no coletor má superfície de contato no coletor bobinas de campo em curto mancais desgastados enrolamentos do rotor em curto escovas mal colocadas ou posicionadas escovas presas no porta-escovas má superfície de contato em ligações enrolamentos à massa enrolamento do rotor interrompido
Motor parte, mas desarma o relé	mancais desgastados escovas presas no porta-escovas escovas desgastadas ou sem pressão enrolamento do rotor em curto enrolamento do campo em curto má superfície de contato no coletor ligações erradas dispositivos de curto não levanta enrolamento à massa mancal engripado mica alta no coletor desbalanceamento dinâmico no rotor dispositivo de curto, sujo sobrecarga
Motor parte, mas aquece durante funcionamento	tensão de alimentação inadequada enrolamentos em curto sobrecarga mancais desgastados dispositivos de curto com má superfície de contato enrolamentos à massa mancais muito justos lubrificação deficiente escovas fora de posição má superfície de contato no coletor escovas desgastadas ou sem pressão má superfície de contato em ligações



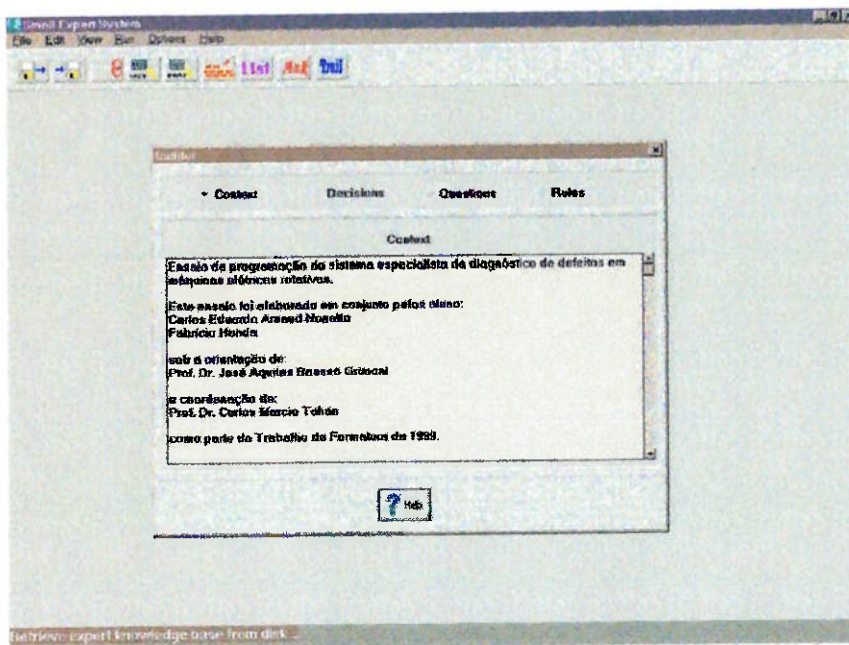


A2. Código Fonte do Programa (Protótipo)

Apenas com o intuito de familiarizar o leitor com a idéia principal do programa , serão apresentados a seguir algumas características do projeto.

Com havia sido dito em oportunidade anterior , a etapa mais importante do projeto consiste na elaboração de uma matriz que relaciona as respostas às perguntas feitas ao usuário com uma série de fatos . Essa relação é feita através das chamadas regras. Essas regras são elaboradas com bases nos dados obtidos em pesquisa e com base em outras fontes , tais como entrevistas com especialistas.

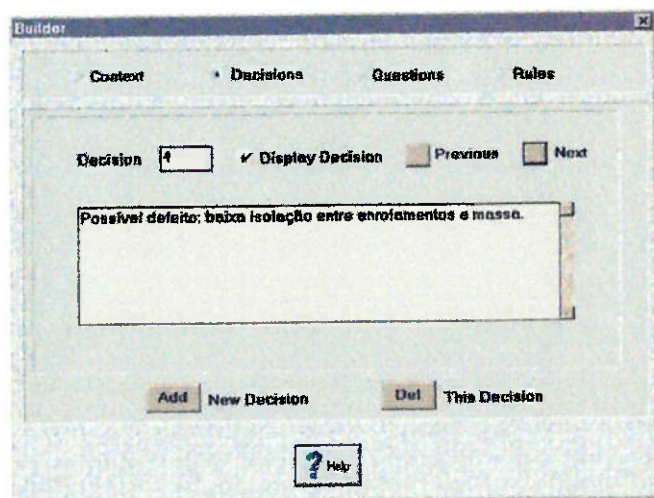
Nas figuras que seguem é possível de se ter uma idéia mais clara do software.



Na figura ao lado está apresentada a tela inicial do programa WINEXP(*), onde foi construído um protótipo da ferramenta especialista. Observe que na janela menor estão disponíveis quatro opções : context, decisions, questions e rules. De maneira simples a opção context mostra ao usuário uma breve apresentação sobre o programa.

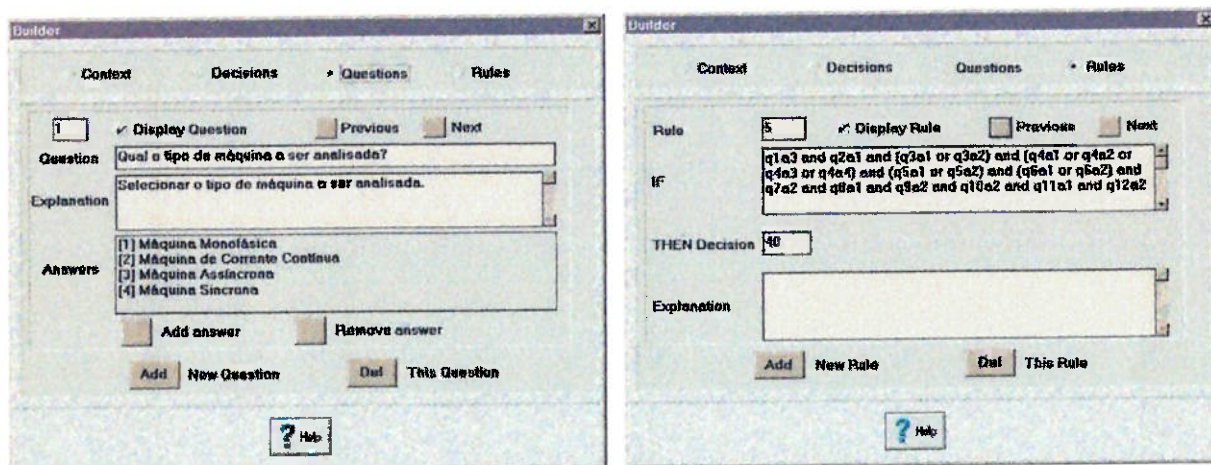
A opção decisions é aquela em que os fatos são colocados, isto é, aqui estão organizados os fatos , para onde as regras apontarão quando o conjunto de respostas convergirem para um ponto comum.

Na tela ao lado tem-se um caso de decisão, que aponta para um possível defeito.

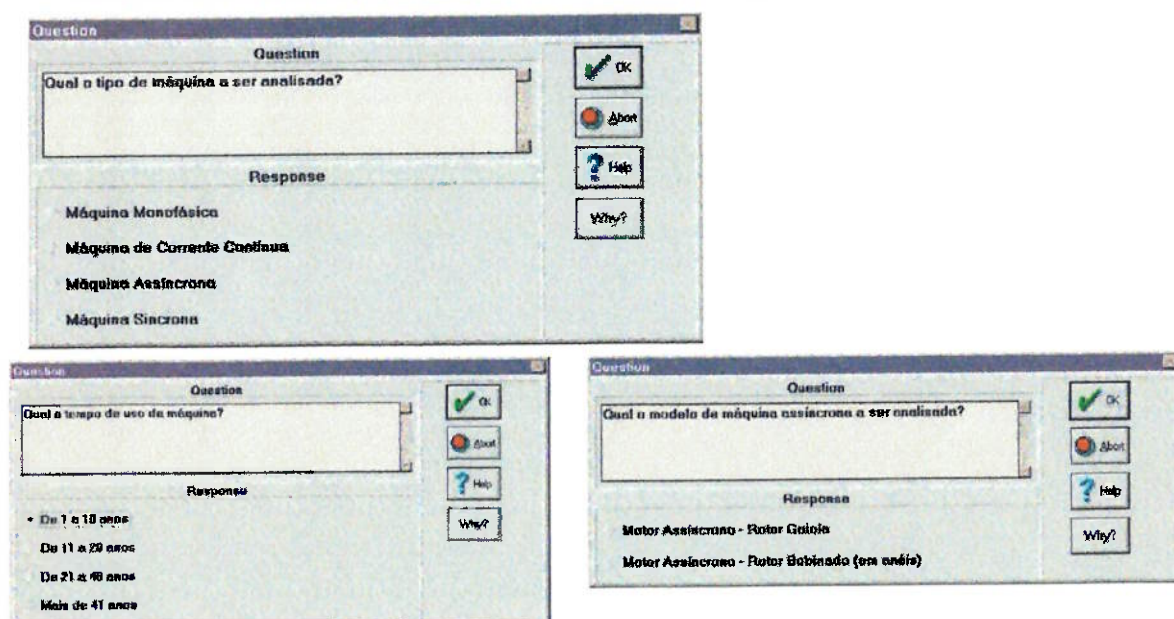




Nas figuras que seguem estão sendo exemplificados os campos questions e o campo rules. Note que A operação para se incluir uma pergunta é muito simples, bastando o programador incluir o texto com a pergunta e através da inclusão das respostas ele inclui as opções que lhe serão úteis no processamento. Já no campo rules, é necessário que a matriz de correlação (já explicitada anteriormente) esteja plenamente elaborada para que as regras sejam cadastradas. Juntamente com a listagem do software está incluída a matriz usada neste protótipo.



As figuras que seguem exemplificam com é feita a operação do software.







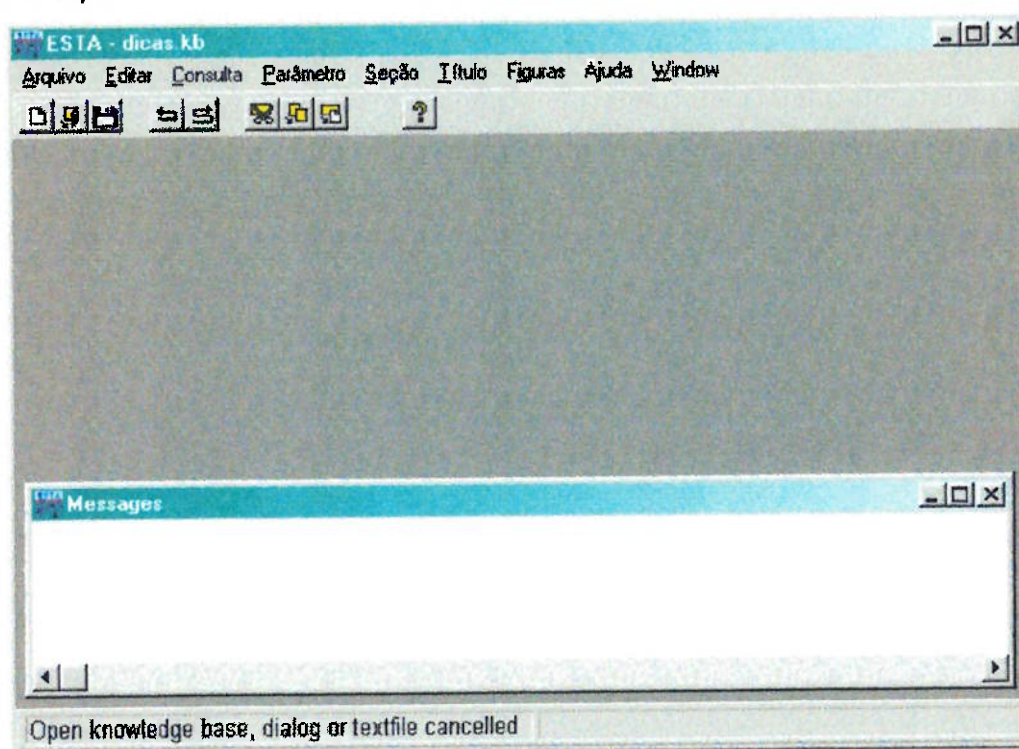
O aplicativo ESTA é muito fácil de operar. Toda instalação do programa não altera em nada o sistema do usuário, ou seja, ele não necessita instalar nenhuma chave ou registro em nenhum dos arquivos do sistema do usuário.

Este manual (guia de referência) tem por objetivo indicar ao usuário as principais ações para que o mesmo possa realizar uma consulta ao sistema especialista desenvolvido, não cobrindo assim todas as diversas opções de menus que o aplicativo apresenta, mesmo porque elas são em sua maioria voltadas ao desenvolvimento do sistema e não à consulta.

- Para iniciar o ESTA

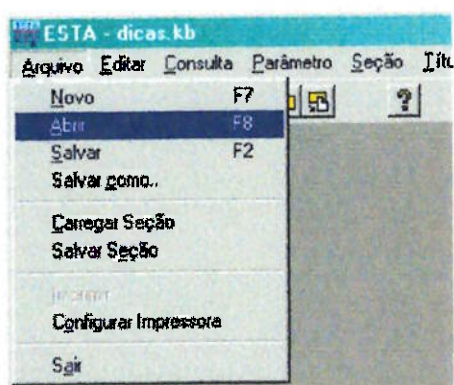
Para iniciar o aplicativo, basta executar o arquivo ESTA.EXE que se encontra no diretório onde foi instalado o aplicativo.

- Tela Principal

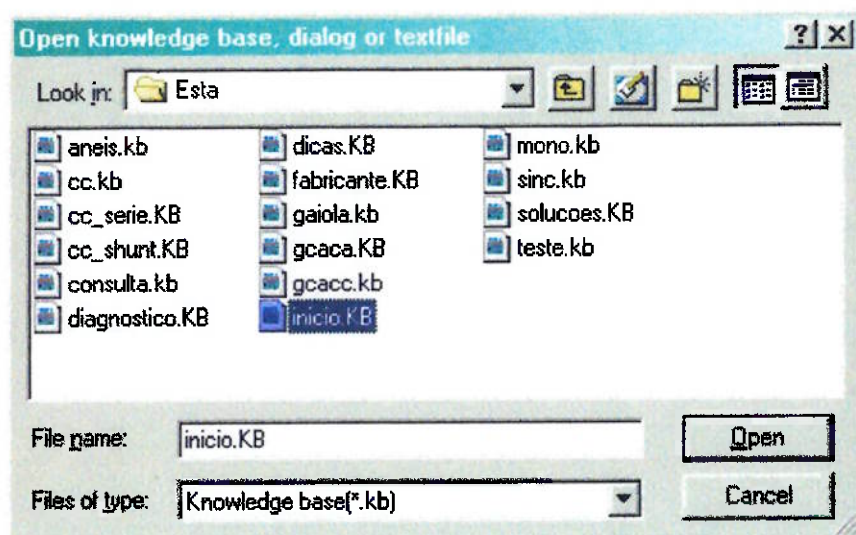


- Iniciando o Sistema Especialista de Diagnóstico de Defeitos

Para iniciar o Sistema Especialista criado o usuário irá clicar em Arquivo, seguido de um clique sobre Abrir.



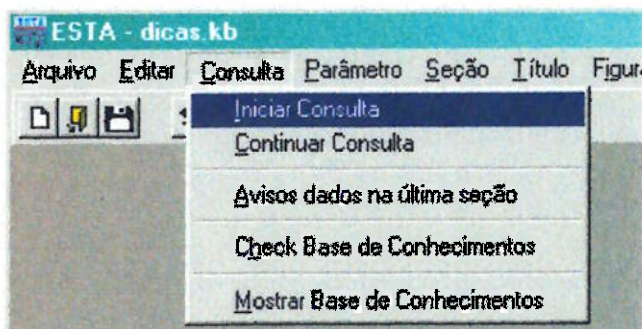
A seguinte janela irá se abrir, permitindo que se escolha o arquivo de dados inicial do Sistema Especialista, assim o usuário deve selecionar o arquivo INICIO.KB, e logo em seguida clicar em Open (Abrir).



Tendo seguido as instruções acima, o Sistema Especialista de Diagnóstico de Defeitos em Máquinas Elétricas Rotativas irá ser carregado.

- Iniciando a consulta

Tendo carregado o sistema no aplicativo o usuário irá iniciar a consulta, o usuário deve clicar sobre *Consulta*, e no menu que se abriu escolher a opção *Iniciar Consulta*.



Basicamente este é o procedimento de inicialização do aplicativo, uma vez iniciada a consulta se torna intuitiva a utilização do mesmo. Como dito anteriormente, as demais funções presentes no software são reservadas ao desenvolvimento de aplicativos, não sendo necessário e oportuno realizar comentário sobre.

Caso o usuário deseje maiores informações sobre as demais opções do software ESTA, o mesmo possui uma seção de Help que o auxiliará.





Versão do Sistema para Web

Durante todo o desenvolvimento do projeto, constantemente os autores mantiveram contato com os fabricantes da linguagem Visual Prolog na qual o sistema foi desenvolvido. Entre estes contatos fomos informados que eles estariam trabalhando numa versão experimental do aplicativo ESTA para operar na internet (W3ESTA).

Solicitamos junto aos desenvolvedores os procedimentos para a realização do aplicativo. Um ensaio deste aplicativo pode ser visto em <http://siriuba.pea.usp.br/diag/index.htm>.

Este aplicativo ainda apresenta muitas limitações e problemas, até mesmo por ser ainda uma versão beta do aplicativo, contudo isto prova que a idéia de publicar este sistema especialista na web é totalmente viável.

O ensaio disponível no site não está completo, visto o curto tempo disponível à programação neste aplicativo. Apesar de não fazer parte do escopo original deste projeto, esta possibilidade de implementação do sistema despertou o interesse dos autores na medida que se revela uma excelente melhoria da versão atual, originalmente pensada.



SISTEMA ESPECIALISTA DE DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS EM MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS DE PEQUENO PORTE

Carlos Eduardo Arnaud Nonatto, Fabrício Honda
José Aquiles Baesso Grimoni

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

Este texto descreve um sistema especialista capaz de reconhecer e propor soluções para os defeitos mais comuns em máquinas elétricas rotativas de pequeno porte. Estas falhas são identificadas através das respostas dadas pelo usuário durante a execução do programa. Estão também disponíveis dicas sobre procedimentos de manutenção preventiva periódica. Dispondo de recursos gráficos, como imagens, o sistema possui interface homem-máquina amigável, de fácil utilização. Assim o software aqui descrito, em linhas gerais, se mostra como um guia que irá auxiliar o usuário na identificação dos possíveis defeitos da máquina analisada, através de perguntas, em forma de um roteiro de checagem dos diversos componentes do equipamento.

SUMMARY

This paper describes an expert system to recognize and give solutions to the most common faults in rotate small power electrical machines. These faults are identified from the user's answers given during the programs' execution. There are also available some tips about procedures of periodically prevent maintenance. With graphics resources, as images, the system has a friendly man-machine interface, easy to use. Thus the software, that was described here, generally, is like a guide that will help the user to identify the possible faults of the analyzed machine, using for this, questions like a guidebook to check all equipment's components.

APRESENTAÇÃO

Sabe-se que todo equipamento elétrico não está imune à falhas e defeitos. No caso específico das máquinas elétricas rotativas estes defeitos (mau posicionamento de escovas, desbalanceamento, curtos, entre outros), provocam o mau funcionamento do equipamento resultando na queda do seu rendimento ou até sua paralisação, consumindo maior quantidade

de energia, gerando perdas de matéria-prima, e comprometendo o processo produtivo envolvido.

Neste contexto, o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de facilitar a manutenção de máquinas elétricas rotativas, tornando-a uma atividade funcional e objetiva, reduzindo a taxa de horas de máquina parada e sem a necessidade de desmontar toda a máquina, garantindo menor queda na produção, se mostra muito interessante.

Com esse objetivo é que se passa a descrever o projeto a seguir: um sistema especialista de diagnóstico de defeitos em máquinas elétricas rotativas de pequeno porte, capaz de diagnosticar defeitos em máquinas assíncronas, síncronas, de corrente contínua e monofásicas.

Este sistema, após análise de informações previamente alimentadas no sistema pelo usuário, responderia ao mesmo com uma lista de possíveis defeitos que o equipamento analisado possui.

Este software pode também indicar as possíveis soluções ao defeito encontrado, como sugerir procedimentos periódicos de manutenção preventiva, objetivando redução no número de ocorrências de falhas no equipamento.

O SISTEMA

Um software baseado em inteligência artificial, também conhecido como sistema especialista, é capaz de analisar diversas informações e emitir um parecer sobre o caso, baseado nos dados por ele conhecidos. Uma versão deste software aplicada a manutenção de máquinas elétricas rotativas é que esta sendo proposta neste projeto.

Este software, em seu módulo principal – Diagnóstico de defeitos -, “colhe” informações sobre o equipamento defeituoso, através de um questionário respondido pelo usuário, e identifica os possíveis defeitos que o equipamento apresenta. Sua interface dispõe de recursos multimídia, tornando-a mais amigável e rica, facilitando a operação do sistema.

Disponível a fabricantes de motores e também a seus clientes, este software apresenta um grande valor comercial agregado, na medida que facilita o processo de assistência técnica – manutenção

corretiva – reduzindo o tempo gasto com a identificação da falha.

O guia de soluções e correções apresentado no programa tem por finalidade auxiliar o usuário na solução dos defeitos encontrados e indicar qual deverá ser sua próxima ação após a identificação da falha.

O objetivo de implementar um guia de manutenção preventiva periódica contribui para que a taxa de horas de equipamento parado se reduza, evitando a parada do mesmo por defeitos rotineiros e previsíveis.

Por último, o módulo de Consulta ao fabricante fornece ao usuário os contatos dos principais fabricantes do setor, para facilitar a tarefa de substituição de peças ou até mesmo de um equipamento danificado.

PÚBLICO

Como citado anteriormente, o público alvo deste software seriam indústrias que possuem diversos motores em sua planta e que tenham interesse em dinamizar o processo de manutenção dos mesmos, reduzindo gastos operacionais com tal atividade.

Fabricantes de motores elétricos também constituem público alvo do produto, na medida em que podem utilizar tal ferramenta, para agilizar a manutenção, revisão e assistência técnica a motores já comercializados, garantindo um atendimento rápido ao cliente.

PERFIL DO USUÁRIO

Para operar o software se fazem necessários conhecimentos básicos sobre os motores, tais como saber identificar os diversos componentes e partes do mesmo e ruídos anormais, enfim o perfil do usuário seria um técnico ou engenheiro de manutenção, ou até operários que tenham contato direto com o motor e suas partes – como no caso dos fabricantes -. Além disso, é necessário que este usuário tenha conhecimentos mínimos de informática para operar o sistema.

Conhecimento de como operar instrumentos de medição, tais como osciloscópio, voltímetros, amperímetros e ohmímetros, também são necessários e essenciais.

FUNCIONAMENTO

Simplificadamente o software dispõe de uma interface homem-máquina gráfica e amigável, com recursos visuais e multimídia, onde através de uma sequência de perguntas, o usuário “alimenta” o software com informações sobre as manifestações observadas no equipamento analisado. Estas informações servirão como dados para a identificação dos possíveis defeitos do equipamento analisado, ou seja, o sistema irá checar as informações dadas pelo usuário com as existentes em seu banco de dados,

cruzando estas informações ele identifica os possíveis defeitos do equipamento. Maiores detalhes serão explicitados na sequência.

METODOLOGIA DE PROJETO

O desenvolvimento de uma ferramenta especialista nada mais é que implementar um banco de dados, de uma forma que a saída do mesmo, seja o resultado obtido por um estudo profundo realizado pelo algoritmo identificador de problema a ser implementado. É neste processo de identificação e “cruzamento” de informações (banco de dados e usuário) que o emprego dos recursos de inteligência artificial, disponível na linguagem de programação escolhida, desempenha enorme papel, reduzindo o número de interações (questões) necessárias à identificação de um defeito.

De uma maneira simplificada podemos enumerar as etapas para o desenvolvimento deste projeto da seguinte forma:

- Pesquisa Bibliográfica
- Estudo de Linguagem
- Entrevistas e Estudo Dedicado
- Definição e Desenho do software

Pesquisa Bibliográfica. Para a realização do projeto se fez necessário o levantamento de dados a respeito de falhas em máquinas elétricas rotativas e suas manifestações. Vale a pena ressaltar que foram feitos estudos para permitir a identificação de defeitos em quatro grandes famílias de máquinas, são elas: Síncronas, Assíncronas, Corrente Contínua e Monofásicas.

Em busca de tais informações, livros que versam sobre manutenção de máquinas elétricas, se revelaram preciosas fontes de informação. Manuais de fabricantes de motores também ajudaram na caracterização dos defeitos, identificação de partes e componentes, enfim enriquecendo os dados já coletados e fornecendo ilustrações ao software.

Outra contribuição significativa trazida por estas publicações foi uma relação de possíveis soluções aos problemas comumente identificados.

Depois de concluída a pesquisa sobre textos de manutenção em máquinas elétricas rotativas, pode-se partir para a listagem e primeira triagem (superficial) dos dados colhidos, seguidos de prévia organização.

Estudo da Linguagem. Para a programação da ferramenta em questão, devia-se utilizar uma linguagem de programação especialmente criada para o desenvolvimento de sistemas especialistas, baseada em conceitos de inteligência artificial, como foi o ProLogTM, linguagem escolhida pelos autores para execução deste projeto, pelos motivos explicitados abaixo.

O ProLogTM (Program Logic) se caracteriza como uma linguagem não recursiva, o que a difere em

muito das usuais – ditas recursivas, onde o programador deve fazer com que todas as operações de lógica e laços sejam explicitados no código do software – no ProLogTM, o próprio conceito do software se encarrega de guiá-lo, a fim de buscar todas as soluções para o questionamento apresentado, ou seja, o modo como esta busca é realizada é algo intrínseco a linguagem de programação.

Em pouco tempo, com o desenvolvimento da internet, também tornar-se-á possível, e as linguagens dedicadas à programação de sistemas especialistas irão dispor de tais recursos, “publicar” páginas na WWW com estas aplicações, ou seja, o sistema especialista estará disponível ao usuário através da internet para uma consulta.

Outra característica que a linguagem deveria possuir é a capacidade de suportar recursos multimídia, que iriam auxiliar na alimentação dos dados no sistema, ou seja, em algumas perguntas, fotos e ilustrações seriam usadas, solicitando ao usuário que identifique qual delas mais se assemelha ao caso real que ele possui.

A possibilidade de construção de uma interface visual simples e funcional, também contribuiu para a escolha, além do quesito compatibilidade ser atendido plenamente, uma vez que o programa escrito nesta linguagem pode ser utilizado nos principais sistemas operacionais atuais como: Windows 9X, NT, OS/2 e Unix.

Particularmente, para o desenvolvimento deste projeto, foi utilizado um aplicativo especialmente desenvolvido em PrologTM para elaboração de sistemas especialista. Este aplicativo, chamado ESTA (Expert System Shell for Text Animation), reunia todos os recursos desejados para elaboração do projeto.

Possuindo seu código fonte, foi possível realizar a tradução de toda a parte visual (menus, caixas de diálogo, etc.) do programa à língua portuguesa.

Entrevistas e estudos dedicados. As entrevistas com profissionais do ramo de manutenção de máquinas elétricas se mostraram de extrema importância para a percepção do lado prático da operação propriamente dita. Através das entrevistas, foi possível colher informações sobre a periodicidade de cada falha, noções sobre o lado econômico que envolve a manutenção de equipamentos, conceitos, programação e importância da realização de manutenção preventiva, além de outros cuidados a serem observados durante o desenvolvimento do software.

A etapa de estudos dedicados, concentrou os esforços na filtragem dos dados recolhidos, agrupando-os conforme o modelo de máquina utilizada, características de instalação, históricos, etc. de forma a garantir a convergência mais rápida dos resultados. Uma boa preparação dos dados nesta etapa

resultaria numa economia de tempo durante a programação propriamente dita.

Definição e desenho do software. Após concluída a etapa de organização e classificação dos dados obtidos, partiu-se para elaboração, estudo e definição do software. Através da elaboração do diagrama de blocos do software e do fluxograma do processamento das informações no software, foi possível solidificar e concretizar as idéias a serem implementadas no programa. Esta fase inicial de definição de projeto tem seu valor, na medida em que seu resultado serviu de roteiro no desenvolvimento do programa, evitando desvios e mudanças no trajeto inicialmente definido, tornando mais dinâmico e eficaz o trabalho futuro de programação.

Ainda sobre a definição do software, vale destacar que houve uma especial atenção dos autores na discussão a respeito da implementação de questões que levassem em conta o histórico de manutenção da máquina, assim como condições ambientais a que esta está sujeita durante a operação. Estes dados ajudam na identificação dos possíveis defeitos do equipamento, na medida em que contribuem para conclusões do tipo: um motor, que opera em meio agressivo, apresenta maior desgaste dos contatos (escova-anéis) no caso de um motor bobinado; uma máquina recém transportada pode apresentar problemas de desbalanceamento nos eixos.

A seguir é mostrado o diagrama de blocos desenvolvido para o software. (Figura 1)

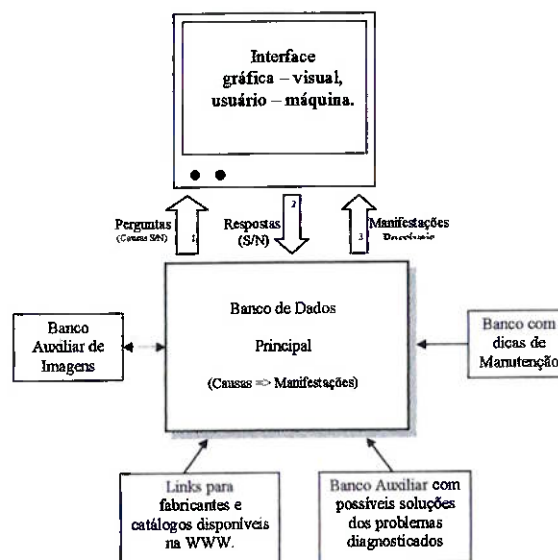


Figura 1 - Diagrama de blocos do software

Através da interface gráfico-visual, o usuário irá interagir com o programa da seguinte forma: (1) o sistema irá fazer perguntas do tipo múltipla escolha e/ou verdadeiro/falso ao usuário; (2) o usuário irá por sua vez, responder aos questionamentos, clicando nas respostas mais convenientes; repetindo este processo algumas vezes, o sistema converge a um determinado número de defeitos; (3) o sistema apresenta ao usuário

o resultado encontrado. Este fluxo de dados está representado através das setas (1), (2) e (3), respectivamente.

O programa (software) como foi pensado e esquematizado anteriormente pelo seu diagrama de blocos, terá como interface usuário-máquina, um ambiente amigável com a presença de recursos visuais e de fácil entendimento e uso, como todos os aplicativos desenvolvidos no conceito de janelas disponíveis hoje no mercado.

Na estrutura do sistema, encontra-se um bloco principal contendo os dados a serem percorridos, dados esses coletados, organizados e classificados anteriormente. Esses dados são a base do sistema, são eles os responsáveis pelas perguntas, pois contêm as relações entre manifestações e defeitos.

Ao redor deste bloco principal, se encontram vários outros blocos, com funções secundárias, que suprem com informações adicionais o sistema. São eles:

- *Banco com dicas de Manutenção*: como o próprio título diz, este bloco é responsável por armazenar informações a respeito de dicas de manutenção preventiva que serão sugeridas aos usuários;
- *Banco com possíveis soluções dos problemas diagnosticados*: após diagnosticado o problema, o usuário poderá consultar uma relação de possíveis soluções para aquele determinado defeito, logo este bloco é responsável por guardar estas informações;
- *Contatos para fabricantes e catálogos disponíveis na WWW*: breve catálogo de contatos dos principais fabricantes, endereços dos sites dos mesmo que facilitarão a consulta do usuário a catálogos, para a solução de dúvidas técnicas;
- *Banco Auxiliar de Imagens*: armazena imagens que mostram vários defeitos, onde o usuário pode escolher aquela imagem que representa melhor o que ocorre com seu equipamento. Isto se mostra uma alternativa para evitar que a interface não seja somente na forma de texto.

Apresentado desta forma o programa basicamente poderia ser implementado por um programa de banco de dados qualquer, visto que são diversos blocos de dados, interligados entre si. Porém, como dito anteriormente, através da análise mais profunda dos dados e dos relacionamentos presentes entre eles, e observada sua complexidade, é que se justifica o emprego dos recursos escolhidos e empregados no desenvolvimento desta ferramenta especialista, como forma de garantir uma convergência rápida e segura.

OPERAÇÃO DO SOFTWARE

O software deve proporcionar uma "navegação" fácil, onde o usuário possa interagir com

o sistema de forma descomplicada e sem muitas dificuldades; anotação e comentários sobre o objetivo de cada pergunta podem ser incluídos de forma que o usuário entenda a importância de tal resposta.

VERSÃO AVANÇADA

O conceito de software aqui apresentado pode ser extrapolado numa aplicação mais avançada, onde através de recursos de aquisição e tratamento de dados "on-line", dados como regulação do motor, temperatura do rotor e estator, tensões e correntes nos enrolamentos e terminais, pressão nos mancais, entre outros, podem ser adquiridos através de transdutores e tratados pelo software a fim de produzir os dados que na versão aqui proposta são alimentados pelo usuário. Assim a aplicação passa a ter uma característica automatizada, independendo até de mão de obra para o diagnóstico do defeito, ou seja, parti-se para um diagnóstico automatizado e "on-line" de defeitos em equipamentos.

Contudo esta versão não integra o escopo do projeto desenvolvido atualmente, servindo esta consideração como sugestão para trabalhos futuros, desenvolvidos por estes mesmos autores, ou quaisquer outros que se sintam envolvidos pelo trabalho.

SIMULAÇÕES

Para verificar a viabilidade de implementação deste projeto, utilizou-se uma versão simplificada de linguagem para programação de sistemas especialistas; esta versão simplificada não permite o emprego de recursos visuais, tampouco aquisição de dados "on-line", contudo permitiu verificar que o projeto era totalmente viável e permitiu uma maior consolidação das idéias já expostas.

PROGRAMAÇÃO

Para a realização da programação do sistema especialista, se fez necessário um rigoroso trabalho de análise dos dados coletados, classificação dos defeitos quanto às causas e manifestações apresentadas, componentes defeituosos, influencia do meio ambiente na falha, erros de ligação, entre outros. Sem dúvida, foi nesta etapa em que se concentrou o maior emprego dos conceitos de engenharia e principalmente os conhecimentos dos autores no tópico máquinas elétricas adquiridos durante o período de graduação.

A tarefa mais importante desta etapa consistiu na elaboração de uma matriz que relaciona as manifestações apresentadas pelas máquinas e as possíveis causas destas manifestações; assim a partir da constatação das manifestações, realizadas e informadas pelo usuário, o sistema, analisando esta matriz, informa o possível problema da máquina.

FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO DO SOFTWARE

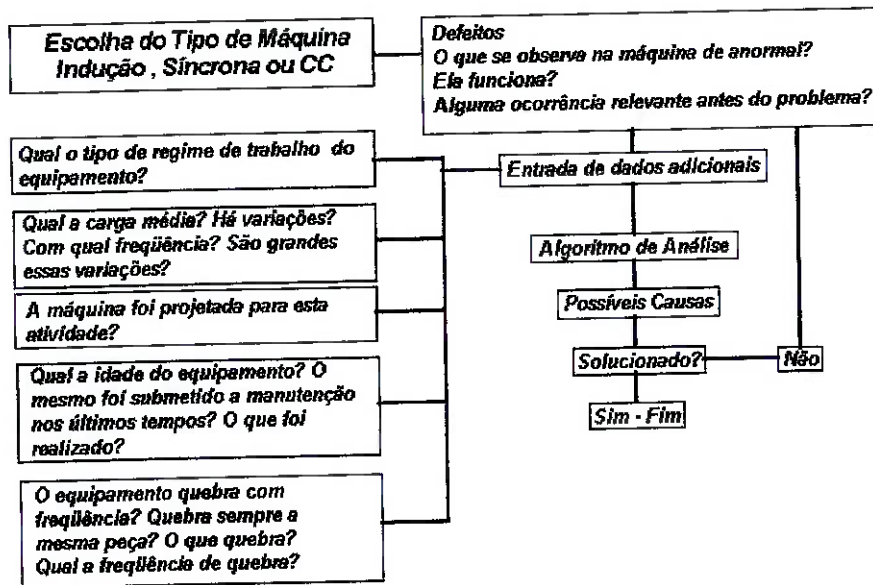


Figura 2 - Fluxograma do software

Como pode se observar no exemplo acima (figura 2) a idéia do programa é simples. O processamento é baseado no tipo de máquina que se estuda e uma série de perguntas são feitas para esclarecer melhor a natureza interna do problema na máquina. Feito isso, dados adicionais sobre a relação máquina-meio são introduzidos. Parte-se então para o algoritmo de análise e com base no conjunto completo de dados o algoritmo retorna os possíveis problemas que possam estar ocorrendo e suas possíveis soluções. Caso o problema não seja solucionado, o sistema volta a fazer algumas perguntas para refinar a análise e apresenta novas "soluções" ao usuário.

O exemplo ilustra uma sequência possível de perguntas que o sistema pode realizar e através da análise das respostas dadas pelo usuário, ele irá informar os possíveis defeitos do equipamento.

A programação pode ser diversificada, não se faz necessário somente questões do tipo Sim/Não ou Verdadeiro/Falso; outras perguntas que abram possibilidades de múltiplas respostas, isto é, respostas que envolvam escolha de alternativas, escolha da faixa etária do equipamento e outras características, bem como solicitação de identificação de equipamento podem ser também implementadas.

MANUTENÇÃO DO SOFTWARE

Diante do apresentado anteriormente, fica evidente que a manutenção do software requer conhecimentos de como este fora desenvolvido anteriormente, este é um ponto fraco dos sistemas especialistas, ou seja, visto a complexidade em que os dados são inter-relacionados no algoritmo do sistema, fica difícil ao usuário, por exemplo, incluir um novo defeito, mesmo que este tenha conhecimentos sobre a linguagem de programação utilizada.

Neste caso uma solução viável é o programador manter seus clientes atualizados, com versões mais recentes, contemplando muitos dos defeitos reportados pelos clientes.

No futuro, com a disponibilização deste sistema via Internet, o cliente terá a cada acesso a certeza de estar utilizando a versão mais recente do sistema, facilitando a utilização; e o fabricante ficará poupado de reportar ao cliente cada nova alteração do sistema.

EXEMPLOS DE TELAS DO SISTEMA DESENVOLVIDO

O sistema especialista desenvolvido apresenta diversas telas de interface com o usuário:

Tela de perguntas sem recursos de ilustração. (Figura 3) Estas são as mais simples, onde no campo superior aparece a questão seguida das opções de respostas:

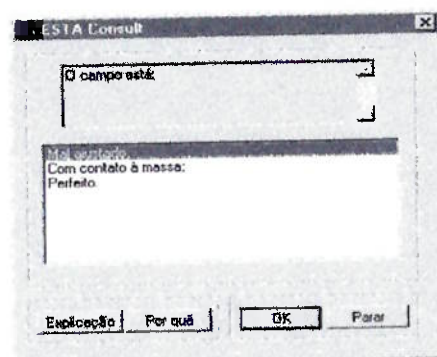


Figura 3 - Interface textual

Este tipo de interface textual (somente texto, sem figuras), foram utilizadas mais frequentemente por não se possuir um acervo de ilustrações de

defeitos muito amplo. Infelizmente, dificilmente fabricantes e retíficas possuem registros fotográficos dos serviços por eles realizados, isto reduz em muito o número de ilustrações disponíveis.

Tela de perguntas com recursos de ilustração. (Figura 4) Estas são mais elaboradas, além da pergunta e respostas, ela traz também ilustrações sobre a pergunta, em alguns casos a resposta pode estar associada a um determinado campo da ilustração, bastando seleciona-lo para responder à pergunta:

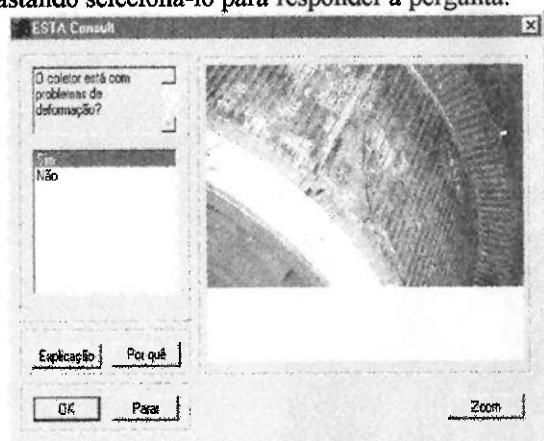


Figura 4 - Exemplo de interface multimídia

Tela de solução de defeitos identificados. (Figura 5) Esta tela exemplifica a tela apresentada ao usuário com dicas para a solução dos defeitos encontrados. No caso específico o defeito está no magnetismo residual:

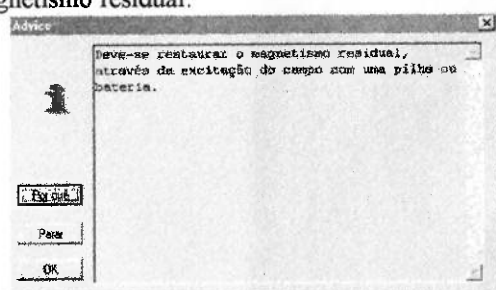


Figura 5 - Exemplo de soluções

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto aqui apresentado se mostra de excelente utilidade na manutenção de equipamentos elétricos de potência, no caso específico de máquinas elétricas rotativas, com ele é possível a redução circunstancial de custos e tempo de duração dos processos de manutenção das máquinas, além de servir para prevenir futuros defeitos que venham a paralisar o processo dependente deste equipamento.

Este sistema especialista desperta a atenção dos clientes na medida em que reduz o tempo de manutenção de equipamentos defeituosos, reduzindo assim as perdas oriundas desta deficiência.

Para os fabricantes destes equipamentos e também profissionais que prestam serviços de reparos em máquinas elétricas, o sistema simplifica seu trabalho, possibilitando que este execute um maior número de reparos, sem depender muito tempo na tarefa de diagnóstico do defeito do equipamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que contribuíram direta ou indiretamente à realização deste trabalho, aos colegas, familiares e a Deus.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chapman, S. J. – Electric Machinery Fundamentals – 2nd edition – McGraw Hill, 1991.
- [2] Fitzgerald, A. E; Kingsley Jr., C.; Umans, S. D. – Máquinas Elétricas – McGraw Hill, 1978.
- [3] Ariza, C. F. - Manutenção Corretiva de Máquinas Elétricas Rotativas – McGraw Hill, 1977.
- [4] Ariza, C. F. – Organização de Manutenção Eletro-eletrônica – McGraw Hill, 1978.
- [5] Vartanov, G.; Verner, V.; Serebriakov, V. – El Electricista de Reparaciones – MIR, 19XX.
- [6] WEG Motores – Instalação e Manutenção de Motores Elétricos - WEG, 1999.
- [7] General Electric – Manutenção de Motores e Geradores – G&E, 19XX.
- [8] Equacional Motores e Geradores – Motores de Indução Ensaio e Defeitos – Equacional, 1998

et al.

BIOGRAFIA



Carlos Eduardo Arnaud Nonatto, natural de São Paulo, Brasil, nascido em 24 de março de 1977. Kursou o segundo grau no Colégio Bandeirantes em São Paulo. Aluno de graduação do curso de Energia e Automação Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, formado em 1999.



Fabrício Honda, natural de São Paulo, Brasil, nascido em 20 de agosto de 1975. Kursou o segundo grau no Colégio Bandeirantes em São Paulo. Aluno de graduação do curso de Energia e Automação Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, formado em 1999.