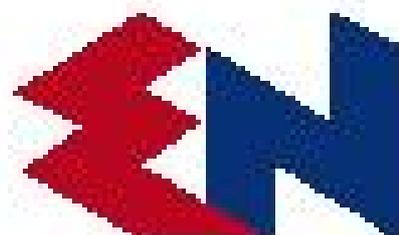


**PROGRAMA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO CICLO 2003-2004**

**MODERNIZAÇÃO DA ÁREA DE AUTOMAÇÃO
DE PROCESSOS DAS USINAS DE
BALBINA E SAMUEL**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



Eletonorte

**SIMPREBAL: METODOLOGIA DO SISTEMA DE
MANUTENÇÃO PREDITIVA DA USINA DE
BALBINA BASEADO NOS DADOS
MONITORADOS DO SISTEMA DE
SUPERVISÃO E CONTROLE SMAR E
ROCKWELL**

Alberto José Álvares

Brasília, 09 Dezembro de 2006

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



PROGRAMA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
CICLO 2003/2004

Nº DO CONTRATO: 4500052325

Nº DO PROJETO: 128

INÍCIO: 28/09/2005

DURAÇÃO: 24 meses

A. Instituição executora:

B. Título do Projeto:

Modernização da Área de Automação de Processos das Usinas Hidroelétricas de Balbina e Samuel

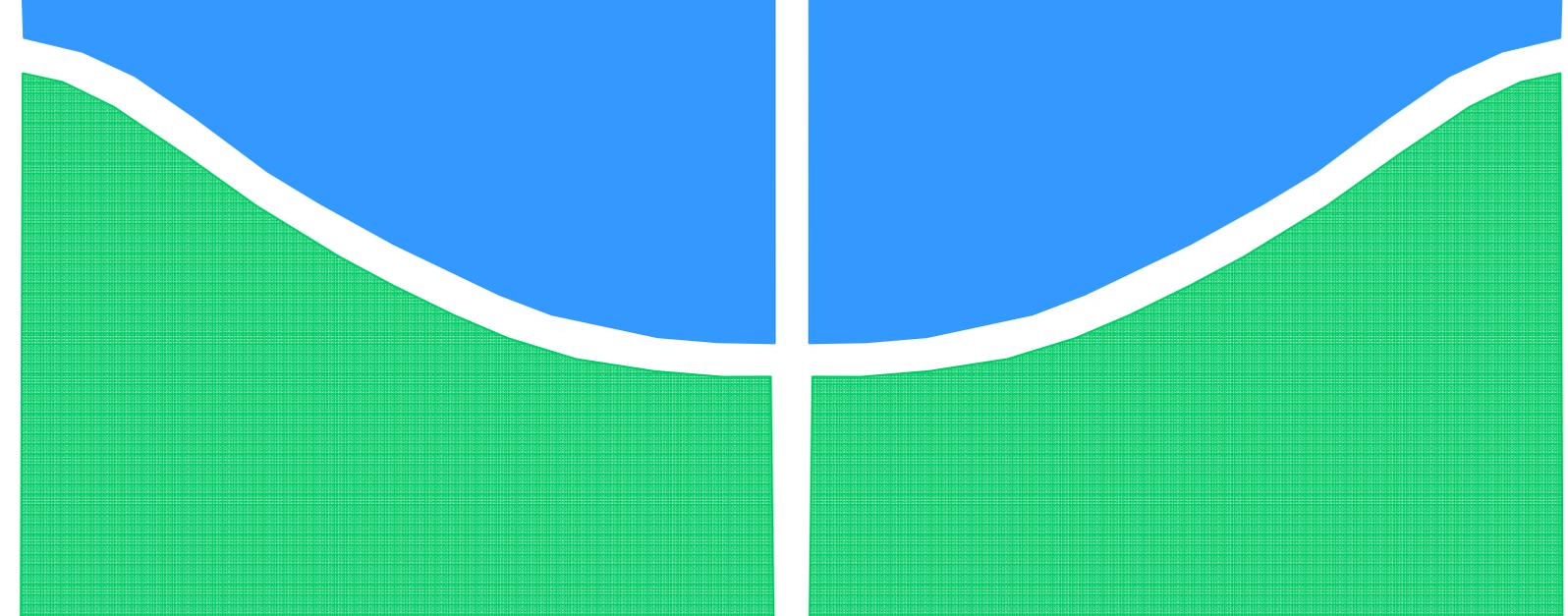
C. Coordenador do Projeto:

Nome: Alberto José Álvares

Fone: (61)-3307-2314 Cel: (61)-99679435 E-Mail: alvares@AlvaresTech.com

**ETAPA 2 – ANO2: BASE DE CASOS DE CENÁRIOS DE CONTINGÊNCIA:
FINALIZAÇÃO DO RELATÓRIO USANDO MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE**





TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**MANUTENÇÃO BASEADA EM
CONFIABILIDADE APLICADA A TURBINAS
HIDRÁULICAS**

Rodrigo de Queiroz Souza

Brasília, Dezembro de 2006

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**MANUTENÇÃO BASEADA EM
CONFIABILIDADE APLICADA A TURBINAS
HIDRÁULICAS**

Rodrigo de Queiroz Souza

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecatrônico

Banca Examinadora

Prof. Alberto José Alvares, UnB/ ENM (Orientador)

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais Rauflin e Célia, e a minha namorada Nathalie, que estiveram sempre presentes me apoiando nos momentos difíceis e compartilhando comigo os momentos felizes. A eles cujo carinho e incentivo me proporcionaram um clima de amor e tranquilidade propício a atividades criativas.

Rodrigo de Queiroz Souza

Agradecimentos

A Deus, por mais essa etapa cumprida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alberto José Álvares, pelo constante apoio, incentivo, dedicação e amizade essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu desenvolvimento como pesquisador.

Ao engenheiro Antônio Araújo Lima, e toda equipe da Gerência de Operação e Manutenção da Geração Hidráulica (COGH) da ELETRONORTE sem os quais este trabalho não seria possível.

À professora Antonieta do Lago Vieira, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pelo material cedido.

Aos demais professores que foram, para mim, pilares no decorrer da graduação, aos colaboradores da secretaria do Departamento de Engenharia Mecânica e do Laboratório de Automação e Controle (GRACO) e aos meus colegas de curso, pela amizade, pelas conversas enriquecedoras e pela ajuda em diversos aspectos.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

Rodrigo de Queiroz Souza

RESUMO

O Projeto consiste no desenvolvimento e aplicação de conceitos de manutenção baseada na condição aliada à teoria da confiabilidade como FMEA, simulação de Monte Carlo, entre outros, visando o desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva para unidades geradoras hidráulicas da usina de Balbina.

Foi estabelecido um enfoque ao sistema da turbina da unidade geradora hidráulica 01 (máquina 01) de Balbina. Como apoio à metodologia, utilizaram-se as ferramentas computacionais Relex e Reliasoft Office.

A partir da descrição textual do sistema, de suas condições de operação e de seus dados de manutenção, os softwares encarregaram-se de gerar os relatórios de análise de confiabilidade, baseada em modelos probabilísticos, possibilitando a avaliação do desempenho do sistema e a construção de uma base de casos de cenários de contingência associadas à manutenção.

ABSTRACT

The Project consists on the development and application of concepts of condition-based maintenance allied to the reliability theory as FMEA, Monte Carlo's simulation, among others, aiming at the development of a preventive maintenance system for Hydraulic Generating Units of the Plant of Balbina.

An approach to the turbine system of hydraulic generating unit 01 (machine 01) of Balbina was established. As support to the methodology, it was used the computational tools Relex and Reliasoft Office.

From the textual system's description, of its operation condition and maintenance data, the software was charged to generate the reports of reliability analysis, based on probabilistic models, making possible the estimation of the system's performance and the construction of a base of cases of contingency scenes associated to the maintenance.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO	viii
LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 RESULTADOS ESPERADOS	1
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	3
2.1 A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS.....	3
2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO.....	3
2.3 A MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)	5
2.3.1 CONCEITOS BÁSICOS	5
2.3.2 DIAGRAMAS DE APLICAÇÃO.....	6
3 PLANO DE TRABALHO	8
3.1 PANORAMA DO SETOR ELÉTRICO	8
3.2 A USINA HIDROELÉTRICA BALBINA	8
3.3 A PROPOSTA	9
3.4 METODOLOGIA SIMPREBAL	11
3.4.1 MODELO DE REFERÊNCIA USADO PARA MANUTENÇÃO BASEADA EM CONDIÇÃO: OSA-CBM	12
4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	15
4.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE PARA MCC.....	15
4.2 SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES.....	17
4.2.1 TURBINA HIDRÁULICA	18
4.2.2 MANCAL DE ESCORA.....	19
4.2.3 MANCAL GUIA DA TURBINA	20
4.2.4 SISTEMA DE VEDAÇÃO DO EIXO.....	21
4.2.5 SISTEMA DO DISTRIBUIDOR.....	22
4.2.6 SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO.....	23
4.3 ANÁLISE DOS MODOS, EFEITOS E FREQUÊNCIA DE FALHAS	23
4.3.1 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS - FMEA	23
4.3.2 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE FALHAS	27
4.3.3 ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS - FTA	33
4.4 SELEÇÃO DE FUNÇÕES SIGNIFICANTES	34
4.5 AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE E TENDÊNCIA DE FALHAS DOS COMPONENTES	34
4.5.1 MEMORIAL DE CÁLCULO	34
4.5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	35
4.5.3 SIMULAÇÃO MONTE CARLO.....	37
4.6 PROPOSTA DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO EFICIENTE	37
5 CONCLUSÕES	38
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXO I - LISTAGEM DOS EQUIPAMENTOS, SUBSISTEMAS, COMPONENTES, TAG'S, VARIÁVEIS DE PROCESSO, NÍVEIS DE ALARME E DE TRIP DO SISTEMA DA TURBINA	40
ANEXO II - DIAGRAMA DE BLOCOS RELEX	45
ANEXO III - ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS (FMEA)	54
ANEXO IV - ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS (FTA)	80
ANEXO V - RELATÓRIO RELEX PADRÃO DE PREDIÇÃO DA CONFIABILIDADE	87
ANEXO VI - SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	103
ANEXO VII - PLANO DE MANUTENÇÃO DA UHE DE BALBINA	110

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 2.1 – Crescimento das expectativas de manutenção (Moubray, 1997).....	4
Figura 2.2 – Mudança das técnicas de manutenção (Moubray, 1997).....	4
Figura 2.3 – Mudanças de visão na falha do equipamento (Moubray, 1997).....	4
Figura 2.4 – Evolução da manutenção (Adaptado de: Wyrebski, 1998).....	5
Figura 2.5 – Diagrama de Processo da MCC (Siqueira, 2005).....	7
Figura 3.1 – Vista aérea da Usina Hidrelétrica de Balbina.....	9
Figura 3.2 – Processo de manutenção centrada em confiabilidade.....	11
Figura 3.3 – As sete camadas da arquitetura OSA-CIM.....	12
Figura 3.4 – Arquitetura do sistema SIMPREBAL.....	14
Figura 3.5 – Exemplo dos 7 módulos (camadas) da arquitetura OSA-CIM.....	14
Figura 4.1 – Processo avaliação da confiabilidade para Manutenção MCC.....	16
Figura 4.2 – Estrutura Organizacional de Samuel (SAP/R3, COGH).....	17
Figura 4.3 – Turbina Kaplan e seus principais componentes.....	19
Figura 4.4 – Montagem dos patins sobre o conjunto de membranas do mancal escora.....	19
Figura 4.5 – Croqui do mancal de escora (vista em corte frontal).....	20
Figura 4.6 – Mancal de casquilho bi-partido.....	21
Figura 4.7 – Mancal guia (vista frontal).....	21
Figura 4.8 – Sistema de vedação do eixo da turbina.....	22
Gráfico 4.1 – Quantidade de falhas do Sistema da Turbina (Gráfico de Pareto).....	28
Gráfico 4.2 – Quantidade de falhas da Turbina (Gráfico de Pareto).....	28
Gráfico 4.3 – Quantidade de falhas do Mancal de Escora (Gráfico de Pareto).....	29
Gráfico 4.4 – Quantidade de falhas do Mancal Guia (Gráfico de Pareto).....	29
Gráfico 4.5 – Quantidade de falhas do Sistema de Vedação (Gráfico de Pareto).....	30
Gráfico 4.6 – Quantidade de falhas do Sistema do Distribuidor (Gráfico de Pareto).....	30
Gráfico 4.7 – Distribuição do número de falhas por equipamento.....	31
Gráfico 4.8 – Tendência de ocorrência de falhas para o Sistema da Turbina.....	31
Gráfico 4.9 – Tendência de ocorrência de falhas para o Mancal de Escora.....	32
Gráfico 4.10 – Tendência de ocorrência de falhas para o Mancal Guia.....	32
Gráfico 4.11 – Tendência de ocorrência de falhas para o Sistema de Vedação do Eixo.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Formulário padronizado de análise FMEA.	24
Tabela 4.2 – Significado dos índices de segurança e/ou meio ambiente.	25
Tabela 4.3 – Significado dos índices de Perda de faturamento.	25
Tabela 4.4 – Significado dos índices de corte de carga.	25
Tabela 4.5 – Significado dos índices de severidade.	26
Tabela 4.6 – Significado dos índices de ocorrência de falhas.	26
Tabela 4.7 – Significado dos índices de detecção.	26
Tabela 4.8 – Componentes Críticos.	27
Tabela 4.9 – Caminhos críticos da árvore de falhas.	33
Tabela 4.10 – Parâmetros da distribuição NHPP, MTBF e taxa instantânea de falhas.	36
Tabela 4.11 – Período ótimo de inspeção.	37

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

<i>MTBF</i>	Tempo médio entre falhas	[h]
<i>MTTR</i>	Tempo médio para reparo	[h]

Símbolos Gregos

β	Parâmetro de forma da taxa de falhas
λ	Parâmetro de magnitude da taxa de falhas

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBM	<i>Condition-Based Maintenance</i>
COGH	Gerência de Operação e Manutenção da Geração Hidráulica
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analyze</i>
FTA	<i>Fault Tree Analyse</i>
FT	<i>Fault Tree</i>
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
NHPP	Processo de Poisson Não-Homogêneo
NPR	Número de Prioridade de Risco
PTFE	Politetra-fluorpolímero
RBD	<i>Reliability Diagram Block</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
SM	Sistemas de Manutenção
UGH	Unidade Geradora Hidráulica
UHE	Usina Hidrelétrica

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre o trabalho exposto. Descreve seus objetivos, resultados esperados, sua organização e distribuição em capítulos. Retrata a importância das atividades de manutenção frente às novas tecnologias e aos novos paradigmas de mercado.

1.1 OBJETIVOS

O desenvolvimento das chamadas novas tecnologias tem promovido mudanças fundamentais na estrutura e nos processos de trabalho. A adoção mais intensa de sistemas automatizados e de modernos equipamentos tem levado as áreas de manutenção a uma posição estratégica em face da importância da disponibilidade operacional para o resultado global das empresas. As atividades de manutenção, neste contexto, devem ser realizadas de forma rápida e atender às expectativas de segurança, conservação do meio-ambiente, custo e qualidade.

Visando atender a esses requisitos foi desenvolvida uma metodologia de manutenção denominada Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Tal metodologia tem profundo embasamento no estudo das funções dos equipamentos e conseqüências das falhas.

O presente trabalho foi realizado no contexto do projeto de Modernização da Área de Automação de Processos das Usinas Hidrelétricas de Balbina e Samuel, e tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma metodologia para que se possa consolidar o chamado Sistema Inteligente de Manutenção Preditiva de Balbina (SIMPREBAL). O SIMPREBAL consiste num sistema de manutenção inteligente para auxiliar a tomada de decisão. A metodologia de desenvolvimento deste sistema é baseada em conceitos de manutenção centrada em confiabilidade (MCC), sendo utilizada para analisar as funções, os modos e efeitos de falhas das Unidades Geradoras Hidráulicas de Balbina a partir das grandezas monitoradas pelo sistema de supervisão e controle da usina. A análise está focada no sistema da turbina, entretanto, a metodologia proposta é genérica, podendo ser utilizada indistintamente em qualquer outro sistema, como, por exemplo, no sistema do gerador.

Podem ser listados os seguintes objetivos específicos:

Descrever o diagrama organizacional de hierarquia dos equipamentos, subsistemas e componentes, indicando as fronteiras e interfaces entre os subsistemas.

Levantar o FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falhas - associado ao sistema. De modo a agir em função dos efeitos e conseqüências da falha.

Construir uma Árvore de Falhas relacionando falhas primárias à falha final do sistema (corte de carga).

Analisar o sistema por diagrama de blocos, e calcular medidas de confiabilidade, disponibilidade, MTBF, taxa de falhas, número esperado de falhas e taxas de risco.

Modelar o sistema por simulações de Monte Carlo e gráficos de distribuição Poisson.

Aplicar a MCC ao sistema da turbina da unidade geradora hidráulica 01 de Balbina e desenvolver análises comparativas entre o SIMPREBAL e a atual sistemática de manutenção.

1.2 RESULTADOS ESPERADOS

Com a realização deste estudo, espera-se contribuir com as empresas do setor elétrico que possuem uma sistemática de manutenção implantada e consolidada, orientada para a manutenção preventiva dos equipamentos e sistemas, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e a priorização de estratégias funcionais para a área de manutenção.

Além disso, espera-se:

Validar a hipótese de adequação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) com a sistemática de manutenção de Balbina,

Disponer de um modelo de implantação da MCC numa sistemática de manutenção consolidada (SIMPREBAL), otimizando a disponibilidade dos equipamentos,

Aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos da planta,

Aumentar a facilidade na tomada de decisão quando da manutenção e operação dos equipamentos de modo a reduzir as paradas corretivas de equipamentos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos.

No **segundo capítulo** são retratados os conceitos básicos de manutenção, a evolução histórica do desenvolvimento industrial, das expectativas de mercado e das técnicas de manutenção. É introduzida ainda a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e sua seqüência de implementação.

O **terceiro capítulo** relata a importância de se garantir continuidade no fornecimento de energia elétrica. Destaca-se como estratégia para atingir tal objetivo a efficientização da manutenção. Em seguida são apresentadas as características técnicas da usina de Balbina juntamente com o projeto de modernização da área de automação de processos da usina e, neste contexto, detalha-se toda a metodologia do sistema SIMPREBAL baseada em MCC.

No **quarto capítulo** é desenvolvida uma análise mais detalhada da aplicação da MCC, apresentando-se as etapas de implantação dessa metodologia, as planilhas desenvolvidas para a aplicação e os memoriais de cálculo contendo algumas considerações feitas em relação à aplicação em Balbina. O capítulo trata ainda de estudos probabilísticos, como o método de análise não-homogênea de Poisson e simulação de Monte Carlo, desenvolvidos para uma aplicação piloto de análise da confiabilidade do sistema da turbina da usina hidrelétrica em estudo. Foram gerados registros utilizando-se as ferramentas computacionais Relex e Reliasoft, os quais formam uma base documental suficiente para se avaliar e acompanhar o processo decisório da MCC. Tais registros estão dispostos em anexo.

As **conclusões** fazem parte do quinto capítulo, onde uma avaliação mais global da potencialidade da MCC é elaborada com base no resultado obtido em Balbina. Por fim são apresentadas algumas recomendações, sejam de melhoria, ou mesmo limitações dos métodos estudados com proposições para pesquisas futuras.

Os **anexos** contêm informações a respeito da instrumentação Rockwell utilizada para controle e monitoração dos processos na usina, além dos cálculos de confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos e correlações com seus TAGs, diagramas de blocos do processo, FMEA, árvore de falhas, distribuições estatísticas e simulações de Monte Carlo.

2 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Este capítulo apresenta os atuais sistemas de manutenção: Principais concepções, importância da manutenção no contexto das organizações, sua evolução histórica na forma de gerações de idéias, o surgimento e as práticas de manutenção centrada em confiabilidade.

2.1 A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS

Conforme definido por Giacomet (2001, p.27), “manutenção é toda ação realizada em um equipamento, conjunto de peças, componentes, dispositivos, circuito ou estrutura que se esteja controlando, mantendo ou restaurando, a fim de que o mesmo permaneça em operação ou retorne a função requerida, ou seja, o conjunto de condições de funcionamento para o qual o equipamento foi projetado, fabricado ou instalado. O equipamento deve desempenhar sua função requerida com segurança e eficiência, considerando as condições operativas, econômicas e ambientais”.

Para Tavares (1996, p.36), entende-se por manutenção “todas as ações necessárias para que um item (equipamento, obra ou instalação) seja conservado ou restabelecido, de modo a poder permanecer de acordo com a condição especificada”.

Independente da definição que se utilize de manutenção percebe-se que as definições ora citadas neste capítulo utilizam a expressão “manter”, “restabelecer”, “conservar”, “restaurar” ou “preservar” a função requerida do ativo físico de um sistema.

2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO

O campo da gerência da manutenção é na atualidade um dos mais dinâmicos em mudanças. Dunn (2001), em seu trabalho “Reinventing the Maintenance Process”, analisa esta dinâmica sob a ótica proposta por Moubray (1997, p.02-06) em Reability-Centered Maintenance. Descreve as mudanças como sendo em três áreas principais:

Crescimento das expectativas de manutenção.

Melhor entendimento de como os equipamentos falham.

Uma escala sempre crescente de técnicas de gerenciamento de manutenção.

E considera também estas mudanças acontecendo em três “gerações” como delineadas. A Figura (2.1) permite verificar o aumento na demanda pelos sistemas de manutenção com relação às exigências organizacionais. Da primeira à terceira geração dos SM, substituiu-se o antigo conceito de substituição após avaria (anos 40-50) por um conjunto de requisitos que incluem desde a disponibilidade e confiabilidade de maquinário ao cuidado com o impacto no meio-ambiente (aos 80-2000).

As escalas crescentes de exigência também impactam em maior demanda pelo conhecimento na atividade de manutenção. A Figura (2.1) representa este fato, com o aumento no número de indicadores e análise referentes à atividade de manutenção.

Conforme análise de Moubray (1997, p.04), a concepção mais antiga de falha era simplesmente de que os itens mais velhos tinham mais probabilidade de falhar. Uma crescente conscientização de “mortalidade infantil” levou a crença generalizada da Segunda Geração na curva “da banheira”. Entretanto, a pesquisa da Terceira Geração revelou que não apenas um ou dois, porém seis padrões de falha ocorrem realmente na prática (Fig.2.3).

A Figura (2.4) mostra a evolução dos paradigmas de técnicas de gerenciamento da manutenção, em decorrência da evolução dos conhecimentos científicos e tecnológicos mundiais.

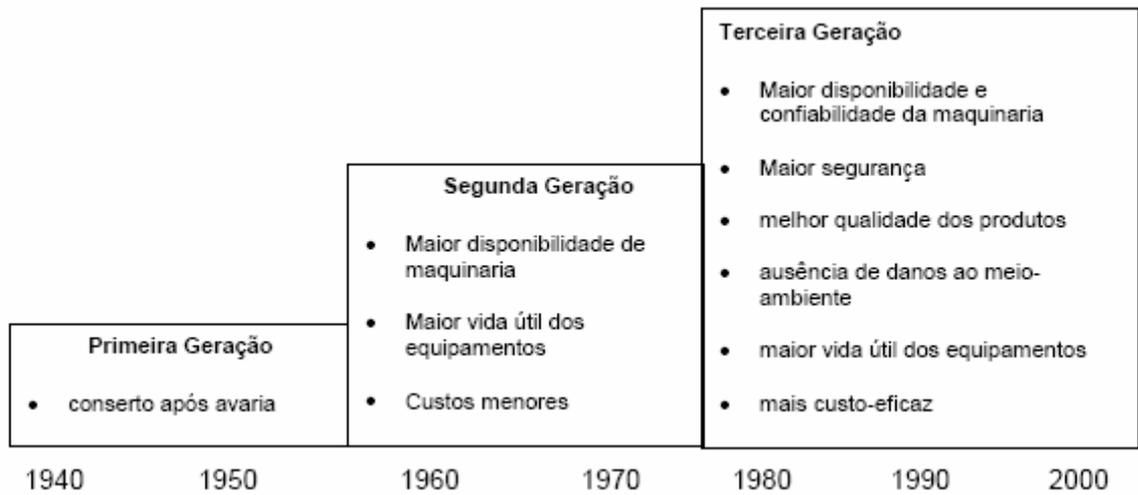


Figura 2.1 – Crescimento das expectativas de manutenção (Moubray, 1997).

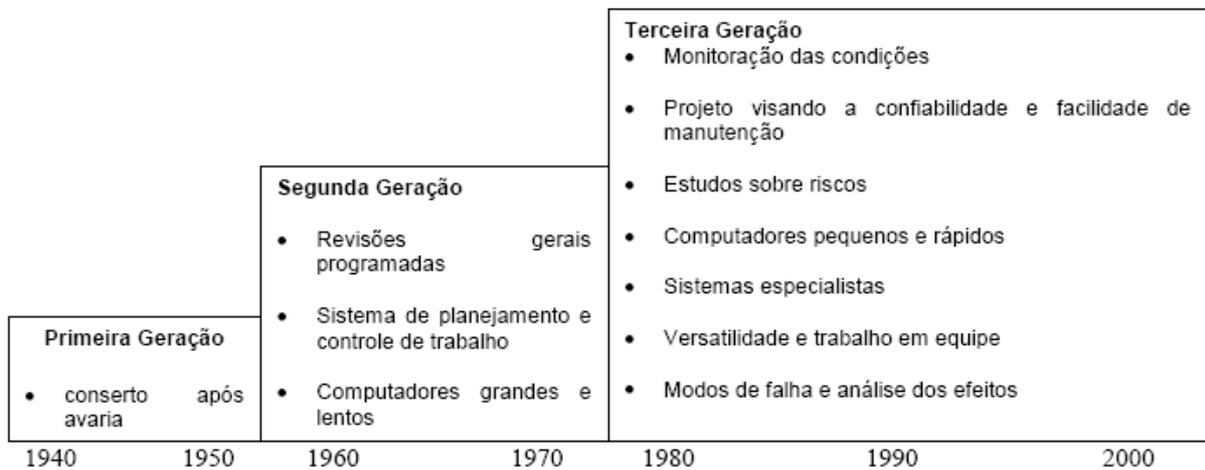


Figura 2.2 – Mudança das técnicas de manutenção (Moubray, 1997).

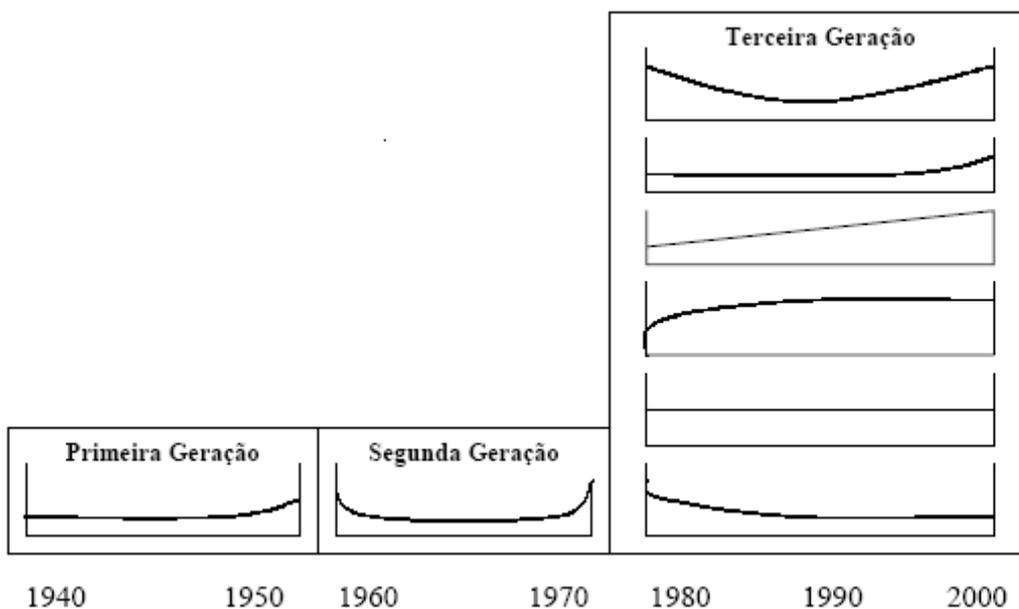


Figura 2.3 – Mudanças de visão na falha do equipamento (Moubray, 1997).

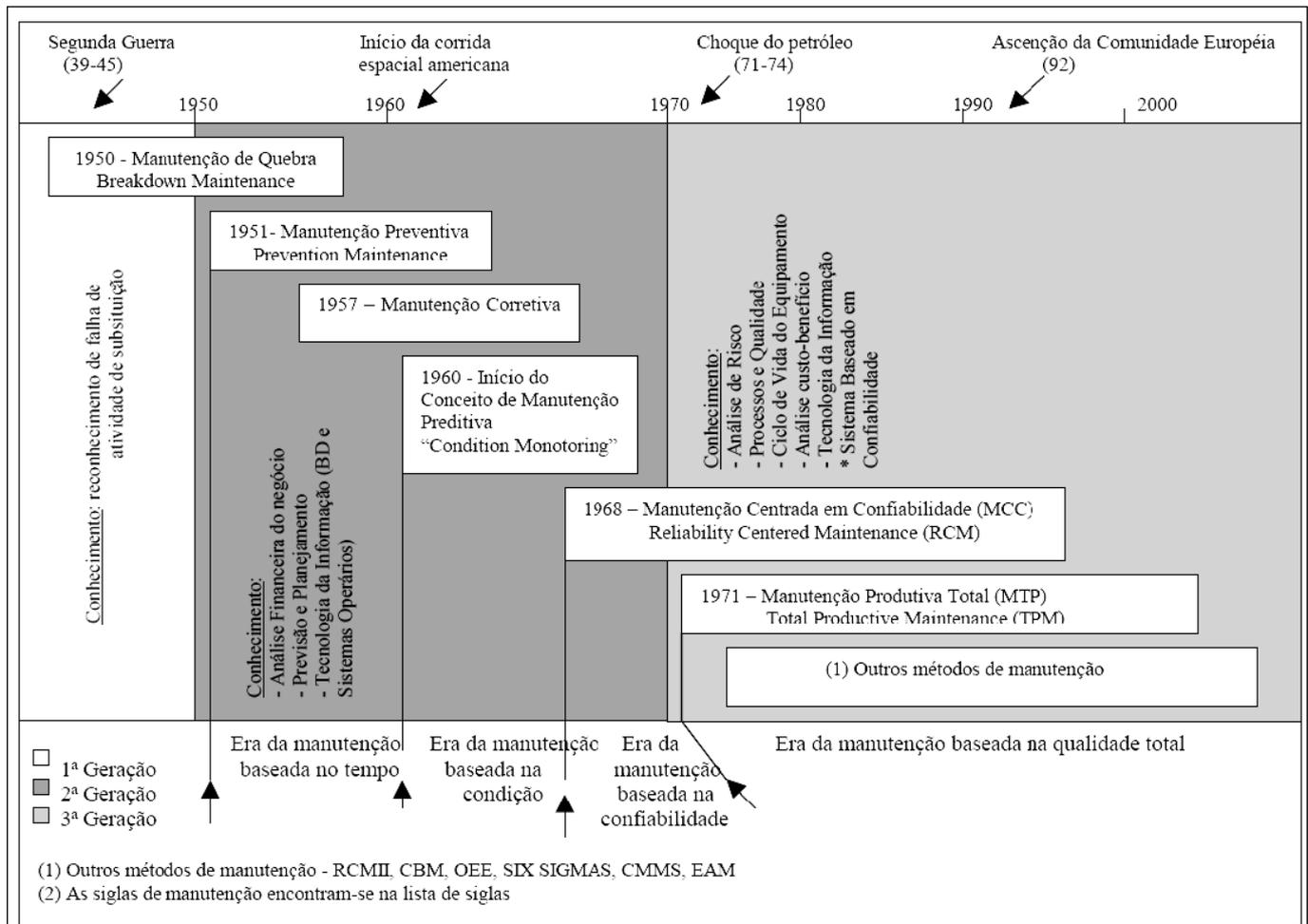


Figura 2.4 – Evolução da manutenção (Adaptado de: Wyrebski, 1998).

2.3 A MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)

A terceira geração da manutenção evoluiu da incapacidade das técnicas de manutenção preventiva frente às exigências da automação ocorrida na indústria a partir de 1975. Nesta geração, além dos requisitos de maior disponibilidade, confiabilidade, e vida útil, a sociedade passou a exigir melhor qualidade e garantia de desempenho dos produtos. Serviços essenciais tais como saúde, telecomunicações, energia, saneamento, transporte público, etc., passaram a depender totalmente de processos automáticos. Falhas nestes sistemas produzem efeitos sociais muito além da simples avaliação econômica de seus custos. Coincidentemente, evoluiu na humanidade a consciência da importância da preservação do meio ambiente, e da garantia de segurança para usuários de processos e produtos industriais, gerando as condições que motivaram o surgimento da metodologia MCC.

2.3.1 CONCEITOS BÁSICOS

Originária da indústria aeronáutica americana, e adotada pelas indústrias nuclear e elétrica mundiais, a MCC é hoje aplicada em muitos outros setores modernos da economia, inclusive o terciário e de serviço. Entre as tecnologias contemporâneas de manutenção, a MCC tem expandido sua aplicação a praticamente todos os ramos de atividade humana, onde haja necessidade de manter o funcionamento de ativos físicos ou processos.

A literatura aponta a MCC como uma ferramenta de manutenção, que visa racionalizar e sistematizar a determinação das tarefas adequadas a serem adotadas no plano de manutenção, bem como garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações ao menor custo. Nesses termos, para Branco Filho (2000, p.41), a MCC “com sua ênfase em otimização, documentação,

rastreabilidade e continuidade está sintonizada com as mudanças gerenciais que vêm se processando ultimamente na indústria em geral”.

De acordo com Smith (1992), a MCC tem o propósito de “preservar as funções do sistema, identificar os modos de falha que afetam essas funções, determinar a importância das falhas funcionais [...] e selecionar as tarefas aplicáveis e efetivas na prevenção das falhas” (p.51).

Valendo-se das diferentes formas de manutenção, a MCC pretende resguardar a função do equipamento, em seu contexto operacional, a partir da determinação das necessidades de manutenção de cada equipamento.

A definição do contexto operacional tem por base, segundo Moubrey (2000), a consideração de certos fatores, tais como: o tipo de processo industrial (se existem redundâncias ou equipamentos em stand-by), o nível de exigência a ser atendido pela produção, os riscos de segurança operacional a serem assumidos, os padrões de meio ambiente; o ciclo operativo dos equipamentos, a logística de manutenção disponível, dentre outros.

A mesma exigência e o conjunto de atividades de manutenção, não são requeridos de maneira semelhante para todos os equipamentos e sistemas. A avaliação deve considerar a dependência funcional e as conseqüências da perda da função para a produção, na eventualidade de ocorrer uma falha. É importante frisar que preservar a função não é o mesmo que preservar a operação do equipamento, como afirma Smith (1992). As funções de um equipamento se confundem com sua própria finalidade de existência e com as relações estabelecidas entre o equipamento e o todo sistema, a fim de se atender uma ou mais características do sistema.

Mais especificamente, a MCC analisa se a função desempenhada pelo equipamento não está atendida, a ocorrência das falhas e, principalmente, suas conseqüências. Como define Fleming (1997), a MCC envolve: uma consideração sistemática das funções do sistema, a maneira como essas funções falham e um critério de priorização explícito baseado em fatores econômicos, operacionais e de segurança para a identificação das tarefas de manutenção aplicáveis tecnicamente e custos eficientes no combate a essas falhas (p.53).

Moss (1985), por sua vez, observa que a MCC está estruturada com o princípio fundamental de que toda tarefa de manutenção deve ser justificada, antes de ser executada. O critério de justificativa corresponde à segurança, à disponibilidade e à economia em postergar ou prevenir um modo específico de falha. Este critério compreende a principal característica da aplicação da MCC, ou seja, a partir de uma avaliação acurada das funções desempenhadas, por cada componente de um sistema produtivo ou equipamento, são estabelecidas as tarefas de manutenção mais adequadas para a garantia do desempenho operacional da instalação.

2.3.2 DIAGRAMAS DE APLICAÇÃO

Objetivando estabelecer métodos adequados de manutenção, a MCC procura obter respostas corretas e precisas a um conjunto de sete questões, colocadas em uma ordem seqüencial específica, aplicáveis ao sistema objeto da manutenção:

Quais as **funções** preservar?

Quais as **falhas** funcionais?

Quais os **modos** de falha?

Quais os **efeitos** das falhas?

Quais as **conseqüências** das falhas?

Quais as **tarefas** aplicáveis e efetivas?

Quais as **alternativas** restantes?

Para responder cada questão, a MCC utiliza muitos métodos e ferramentas de um conjunto aberto de soluções, algumas tradicionais, outras recentes e modernas, segundo uma seqüência estruturada e bem documentada, possível de ser auditada. Tal seqüência é composta basicamente de sete etapas, assim denominadas:

- Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
- Análise de Modos de falha e Efeitos;
- Seleção de Funções Significantes;
- Seleção de Atividades Aplicáveis;
- Avaliação da Efetividade das Atividades;
- Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- Definição da Periodicidade das Atividades.

Em cada etapa são utilizadas ferramentas de modelagem ou análise de sistemas, destinadas a responder e, principalmente, documentar os critérios e respostas a cada questão da MCC. Estas etapas estão detalhadas no Diagrama do Processo da Fig. (2.5), que ilustra os produtos e relacionamentos entre os diversos processos de análise.

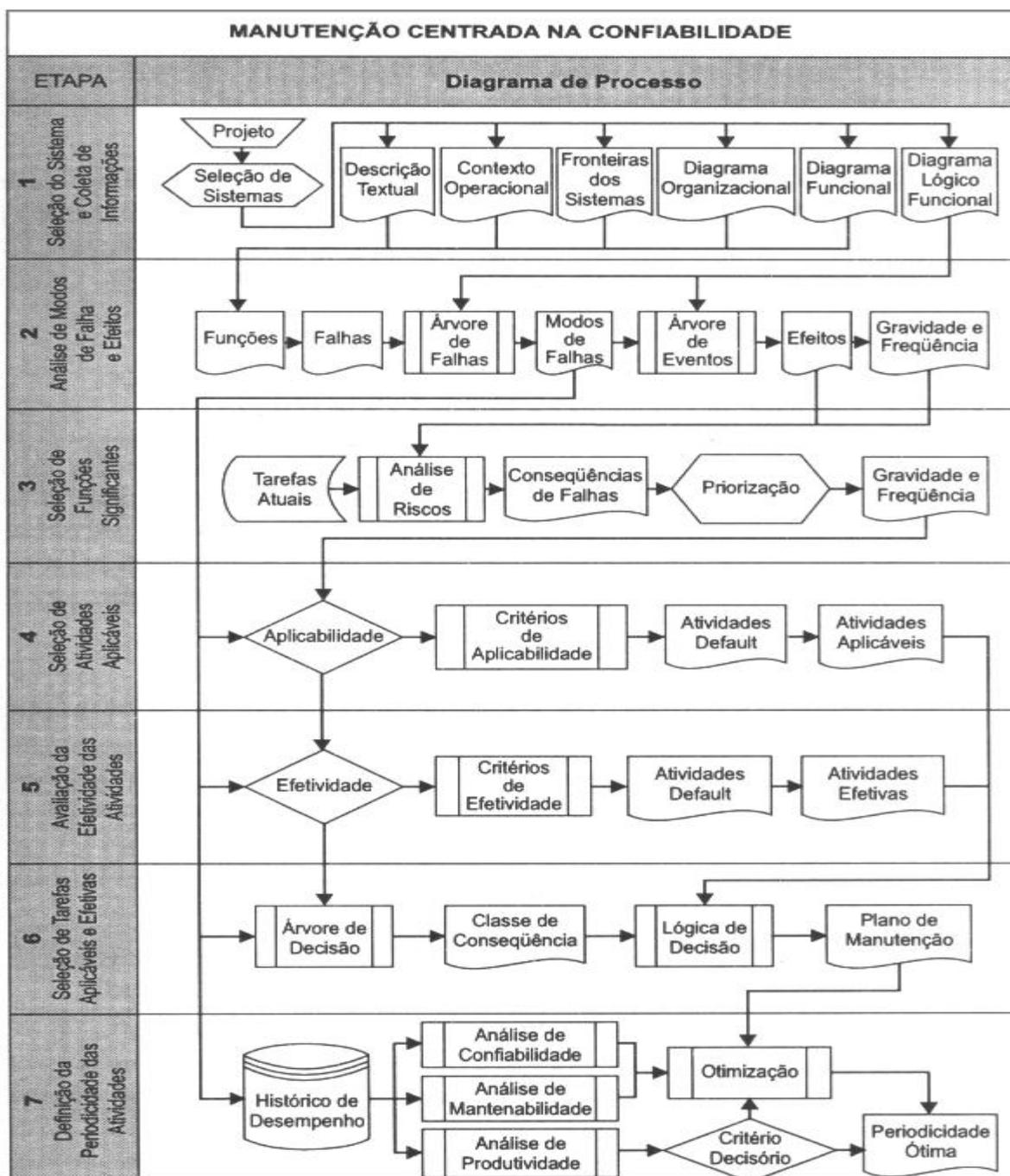


Figura 2.5 – Diagrama de Processo da MCC (Siqueira, 2005).

3 PLANO DE TRABALHO

Este capítulo busca direcionar a aplicação da metodologia MCC a um sistema elétrico. Especificamente, a uma unidade geradora hidráulica da usina Hidrelétrica Balbina.

3.1 PANORAMA DO SETOR ELÉTRICO

Os sistemas de potência constituem elemento básico no desenvolvimento econômico e social das sociedades modernas. Por razões técnicas e econômicas, esses sistemas evoluíram de um conjunto de pequenos sistemas isolados para grandes e complexos sistemas interligados com dimensões nacionais ou, até mesmo, continentais. Pode-se dizer que sistemas elétricos de potência estão entre os maiores sistemas já desenvolvidos pelo homem.

A função básica dos sistemas de potência é atender a demanda de energia dos consumidores da maneira mais econômica possível, dentro de padrões de continuidade, qualidade e segurança aceitáveis. Uma vez que a continuidade do fornecimento de energia elétrica é crítica, a indisponibilidade operativa pode representar, em termos de custos, muitas vezes mais do que o que custaria reparar a própria falha.

As empresas do setor elétrico enfrentam o desafio da sobrevivência com as novas regras impostas de relacionamento e de mercado, bem como o desafio da obsolescência tecnológica e gerencial. Por outro lado, devido à sofisticação dos equipamentos elétricos e eletrônicos utilizados pelos consumidores, a exigência em termos da confiabilidade do suprimento de energia elétrica tem aumentado consideravelmente.

Independente de qualquer problema, dois fatos sempre estarão presentes em qualquer cenário:

A demanda por energia elétrica continua crescendo e tendo entre suas conseqüências a expansão do parque elétrico.

Os equipamentos continuam a envelhecer e falhar, obrigando um tipo de ação.

A fim de reduzir a probabilidade, frequência e duração de eventos de falha e reduzir seus efeitos, é necessário realizar investimentos financeiros no sentido de aumentar a confiabilidade do sistema.

Dentro desse contexto, a manutenção dos sistemas elétricos sofre mais desafios do que qualquer outra área de gerenciamento. As técnicas de manutenção condicional – em que o equipamento é monitorado durante o seu funcionamento e as paradas são realizadas somente se identificada a presença de algum defeito a ser corrigido – tornaram-se absolutamente necessárias.

3.2 A USINA HIDROELÉTRICA BALBINA

A Usina Hidroelétrica de Balbina (UHE Balbina) é gerenciada pela Manaus Energia, empresa subsidiária integral da Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A. A usina situa-se no rio Uatumã, município de Presidente Figueiredo, no Estado do Amazonas, distando 180 km, da cidade de Manaus, nas coordenadas geográficas 01° 55'S de latitude e 59° 28' W de longitude.

O conjunto Turbina Gerador de Balbina possui as seguintes especificações:

- Turbinas: Tipo Kaplan de eixo vertical; Número de Unidades 5; Capacidade Instalada 5 x 50MW e Queda Líquida de 21,85m.
- Geradores: Tipo Umbrella, Número de Unidades 5; Capacidade Nominal 55,5MVA e Tensão Nominal de 13,8kV. Os geradores 1, 3 e 5 são geradores auto alimentados e 2 e 4 são de alimentação externa, ou seja, se houver parada nos geradores 1, 3 e 5 os geradores 2 e 4 não são capazes de gerar a energia elétrica. Os geradores são de baixa rotação (105,88 rpm).



Figura 3.1 – Vista aérea da Usina Hidrelétrica de Balbina.

As usinas da Eletronorte encontram-se em diferentes estágios tecnológicos. Isto se torna mais evidente no caso das tecnologias de automação de processos, especialmente de instrumentação, em utilização nas diferentes plantas.

A Eletronorte está atualmente implementando uma estratégia de automação de suas usinas hidroelétricas mais antigas, o que, num primeiro momento, inclui a atualização tecnológica dos sistemas de monitoração de turbogeradores, migrando de uma tecnologia baseada no padrão 4-20mA para um sistema de monitoração distribuído com base em rede de dados baseada em tecnologia Foundation Fieldbus. Já existe um sistema destes instalado na usina de Balbina, disponibilizando acesso, a partir de um único ponto, a dados de sensores distribuídos nos diversos sistemas componentes das unidades geradoras de energia.

Quanto aos processos de medição, tratamento, visualização e gerenciamento de grandezas físicas, elétricas e mecânicas, como temperatura, pressão, desgaste de mancais, qualidade de óleo lubrificante, etc., a situação é a mesma. Algumas unidades da Eletronorte dispõem de modernos sistemas supervisórios, enquanto outras ainda utilizam tecnologias completamente defasadas para armazenamento dessas informações, inexistindo sistemas de tratamento desses dados e de auxílio à tomada de decisões.

Constata-se, por parte da gerência de manutenção, a necessidade de um sistema que trate os dados relativos às grandezas físicas, elétricas e mecânicas adequadamente, e que os disponibilize (os dados históricos, inclusive) on-line, de forma que sejam úteis às áreas de manutenção e operação de plantas na tomada de decisões.

Antes da realização da atualização tecnológica supracitada, os dados referentes às grandezas monitoradas nas unidades geradoras eram coletados manualmente e interpretados individualmente pelos operadores do sistema quanto ao seu significado relativo à operacionalidade bem como relativo à necessidade de manutenção corretiva das máquinas. Tendo em vista ser o sistema muito dependente da experiência dos operadores, a confiabilidade das interpretações não é uniforme, possibilitando a ocorrência de erros de interpretação que podem levar a uma parada inesperada da máquina.

3.3 A PROPOSTA

Atualmente, existem metodologias de análise de dados baseadas em técnicas estatísticas aliadas a técnicas de inteligência artificial que possibilitam uniformizar os diagnósticos referentes aos dados coletados, de acordo com a experiência prévia dos operadores, e analisar as correlações entre os dados coletados e os comportamentos observados, além de técnicas de fusão sensorial que permitem um aumento na confiabilidade dos diagnósticos produzidos.

Considerando o exposto, o atual projeto consiste em um primeiro passo no sentido de conceber uma sistemática de manutenção denominada de SIMPREBAL – Sistema Inteligente de Manutenção Preditiva de Balbina. Trata-se de um sistema computacional com vistas à produção de diagnósticos de estados de funcionamento e de dados que auxiliem a tomada de decisão quanto a ações operacionais e de manutenção das máquinas visando o aumento da disponibilidade dos equipamentos.

A concepção do SIMPREBAL é fundamentada na idéia de manutenção centrada em confiabilidade a partir de grandezas monitoradas pelo sistema de supervisão e controle da usina.

Entende-se por confiabilidade o atributo caracterizado pela probabilidade do produto cumprir sua função ao longo do seu ciclo de vida. É, muitas vezes confundida com qualidade, dado que tem forte relação com o padrão de desempenho do produto. Dentre as atividades para a garantia da confiabilidade estão os cálculos de probabilidade, os quais expressam a possibilidade de ocorrência de um evento. Não existe uma simples fórmula ou uma única técnica que seja capaz de modelar tais eventos probabilísticos. Depende do problema existente e das condições de contorno estabelecidas.

A dificuldade da consideração dessa estrutura ocorre principalmente nas primeiras etapas do desenvolvimento do sistema e, praticamente, em todas as fases do processo de projeto, devido à falta de informações em quantidade e qualidade estatisticamente representativa do evento em foco. Há que utilizar, nesses casos, de estratégias e ferramentas de análise, compatíveis às exigências requeridas pela tomada de decisão, recomendada para cada etapa do ciclo de vida. Na presença de dados estatísticos pode-se, em função de formulações apropriadas, estabelecer referenciais a serem seguidos para cada etapa do ciclo de vida ou cada fase de qualquer das etapas.

A partir da modelagem do sistema SIMPREBAL, os cálculos de confiabilidade e disponibilidade foram desenvolvidos utilizando-se como apoio as ferramentas computacionais Relex e Relliasoft Office. O sistema utiliza técnicas de sistemas inteligentes para detectar situações de manutenção preditiva e alertar ao usuário potenciais falhas em iminência de acontecer. Os dados de manutenção da usina correspondem a históricos de cartões de anormalidades, taxas de falha e históricos de ocorrência de desligamentos; e estão dispostos nos sistemas de gerenciamento de informações SAP/R3 e INFO_OPR, utilizados pela Eletronorte em seus centros de operação.

O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia MCC de concepção do SIMPREBAL focada no sistema da turbina da UGH-01 de Balbina. Serão seguidas as sete etapas de implementação da MCC descritas no capítulo anterior (Fig. 2.5).

A Figura (3.2) apresenta uma síntese do procedimento adotado para realizar o processo de manutenção centrada em confiabilidade.

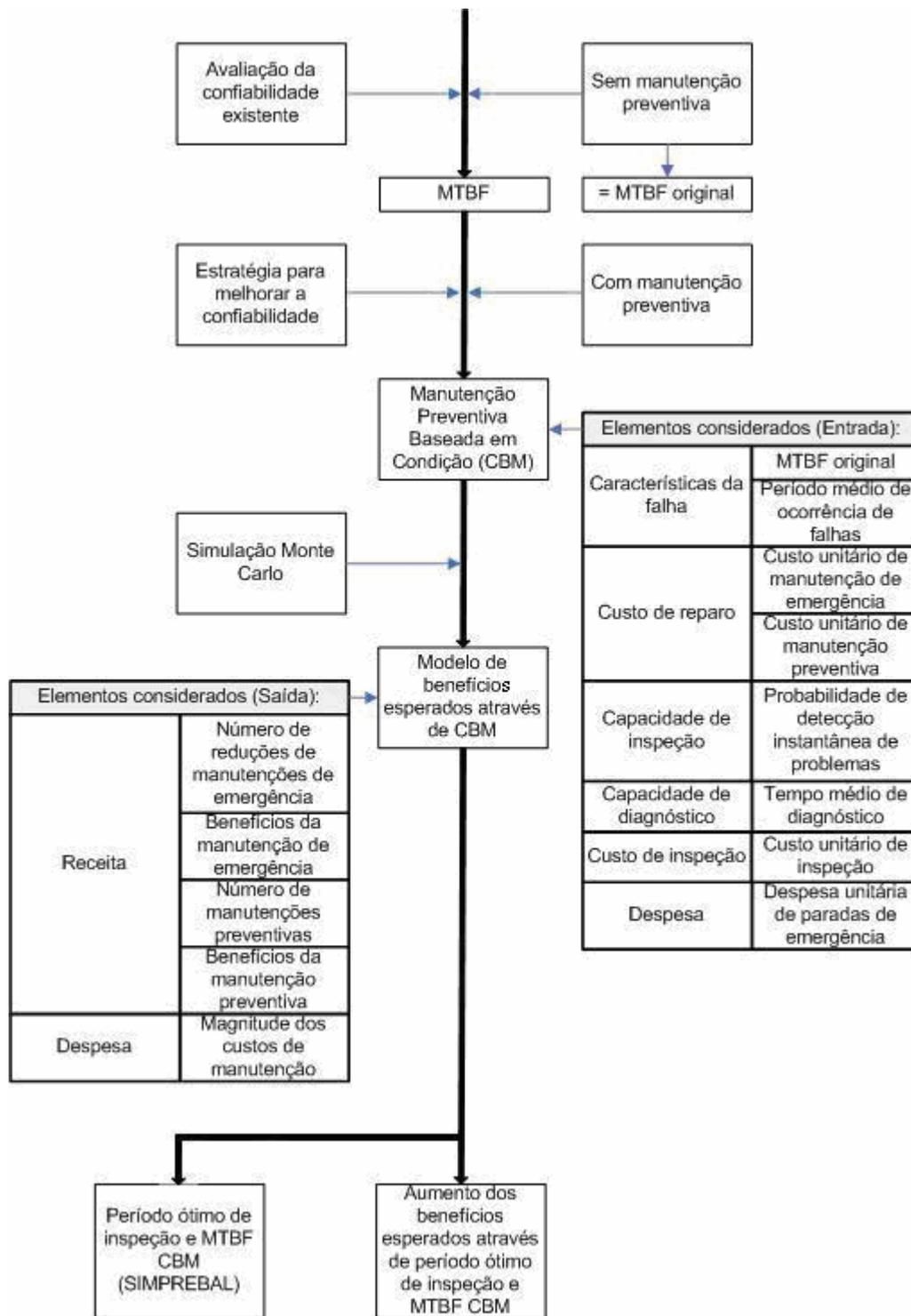


Figura 3.2 – Processo de manutenção centrada em confiabilidade.

3.4 METODOLOGIA SIMPREBAL

O primeiro princípio a ser compreendido é que quando faltas/defeitos ocorrem, o comportamento da máquina muda. Esta mudança é frequentemente refletida nos sinais de monitoração medidos. É importante prover os meios de captura do comportamento da máquina durante a sua operação e gerar alertas quando ocorrem desvios com relação ao padrão normal observado. O segundo elemento chave é fornecer suporte adequado para armazenar e manipular a estrutura de informação sobre a possível condição da máquina ou de seus componentes individuais, no caso as partes e componentes do Sistema da Turbina. Por

fim o conhecimento estruturado e a informação numérica devem ser conectados através de um sistema de diagnóstico, que tem como objetivo associar as medições coletadas com as condições da máquina. A Figura (3.4) apresenta a arquitetura do sistema descrevendo seus módulos e como os módulos se relacionam.

3.4.1 MODELO DE REFERÊNCIA USADO PARA MANUTENÇÃO BASEADA EM CONDIÇÃO: OSA-CBM

Será utilizada como referência para o desenvolvimento do sistema de manutenção inteligente baseado em condição a arquitetura OSA-CBM (Open System Architecture for Condition Based Maintenance) descrita na URL <http://www.osacbm.org>.

A arquitetura OSA-CBM consiste em sete camadas (Fig. 3.3). A noção de uma arquitetura estendida em camadas usada aqui é consistente com a usada por Buschman (1996). Uma camada é vista como uma coleção de tarefas semelhantes ou funções em níveis diferentes de abstração.

As camadas hierárquicas representam uma transição lógica ou um fluxo da saída dos sensores para a camada de tomada de decisão, através das camadas intermediárias. A camada de apresentação é uma exceção dentro da arquitetura, pois permite comunicação ponto-a-ponto entre esta camada e qualquer outra.



Figura 3.3 – As sete camadas da arquitetura OSA-CIM.

A seguir são apresentadas as sete camadas e como estas camadas se ajustam ao sistema SIMPREBAL em desenvolvimento:

Módulo de sensor: A camada de módulo de sensor consiste no transdutor e elementos de aquisição de dados. O transdutor converte alguns estímulos em energia elétrica ou óptica. A aquisição de dados é a formatação de produção analógica do transdutor para um formato digital. *Neste módulo serão*

utilizados os sensores e conversores Foundation FieldBus da Smar, System 302. Também é previsto o uso de sensores da Rockwell para monitoração de vibração, por exemplo.

Processamento de sinal: A camada de processamento de sinais processa os dados digitais do módulo de sensor de modo a convertê-los numa forma específica capaz de representar a grandeza física que está sendo monitorada e, caso necessário, efetuar cálculos matemáticos sobre ela. Além disso, esta camada é responsável por processar os parâmetros e comandos enviados pelo usuário ao módulo sensor. Contribuições para esta camada podem incluir tipo de módulo de sensor e informação de local e dados de calibração. *Também são utilizados a instrumentação FieldBus e Rockwell. No caso do sistema de monitoração de vibração da Rockwell, o sistema tem incorporado funcionalidades para tratamento de sinais usando Transformada Rápida de Fourier TRF.*

Monitoração de Condição: Esta camada determina a condição da planta, de seus subsistemas, ou componentes (excede limiar, ciclo de tensão, condição operacional, métrica de uso) baseado em algoritmos, sistemas inteligentes e na saída dos módulos de sensores e processamento de sinal. Esta camada pode fazer uso de histórico de condição local e fornece parâmetros para o modelo. *Dois dimensões devem ser consideradas. Na primeira o conversor FieldBus e o sistema Assetview da Smar fornecem análises relativa a condição da instrumentação FieldBus. Na segunda dimensão o sistema SIMPREBAL fornece a condição do sistema monitorado.*

Avaliação de estado: A camada de avaliação de estado determina o estado do sistema, subsistemas ou componentes monitorados baseado na saída do módulo de monitoração de condição, das condições históricas e de valores de referência. A saída desta camada é um índice de estado do equipamento monitorado. *Dois dimensões também devem ser consideradas. Na primeira o conversor FieldBus e o sistema Assetview da Smar fornecem a avaliação do estado da instrumentação FieldBus. Na segunda dimensão o sistema SIMPREBAL fornece a avaliação do estado do sistema monitorado.*

Prognósticos: A camada de prognósticos considera a avaliação de estado do sistema, subsistema, ou componente, o escalonamento empregado (predição de uso - cargas e duração) e capacidade do modelo/raciocínio que pode predizer o estado do equipamento, com uma determinada precisão. Lee et al. (2004) apresentam seu sistema WatchDog Agent que implementa dezenas de ferramentas e algoritmos de prognósticos, baseados em Transformada de Fourier, Modelo Auto-regressivo, Lógica Fuzzy, Redes Neurais, entre outros. *O sistema SIMPREBAL irá utilizar abordagem baseada em Sistemas Inteligentes – Sistemas Especialistas e Lógica Fuzzy – que serão desenvolvidos usando as ferramentas Jess, FuzzyJess e o MatLab.*

Tomada de decisão: A camada de tomada de decisão integra informações necessárias para que se tome uma determinada atitude diante de uma condição específica do sistema. É baseada em informações sobre a avaliação do estado do sistema, subsistemas ou componentes, bem como em uma noção a respeito da severidade, urgência e importância de se tomar certa decisão. A tomada de decisão envolve uma avaliação rigorosa das conseqüências de tal decisão, além de exigências de missão e incentivos financeiros. Provê indicando ações e alternativas com as implicações de cada alternativa. *O sistema SIMPREBAL irá realizar a tomada de decisão baseado na sua base de conhecimento e relacionamento entre a árvore de faltas/falhas e a árvore de sintomas, complementado pelas informações de inspeções simplificadas e detalhadas realizada pelo sistema de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).*

Apresentação: A camada de apresentação suporta a interface com o usuário. Permite a monitoração, por meio de visualização dos dados medidos pelo módulo sensor, e o controle do sistema, através de parâmetros enviados pelo usuário ao módulo sensor. Esta camada provê independência para as aplicações em relação às diferentes formas de representação dos dados, bem como, fornece inteligibilidade aos resultados produzidos pelas camadas inferiores, e fornece também a interface homem/máquina. *A camada de apresentação do sistema SIMPREBAL será desenvolvida para GUI (Interface Gráfica com o Usuário) baseada em browser (Netscape, Mozilla, IExplore, entre outros) usando html, XML, javascript e applets (Java).*

A Figura (3.4) apresenta um diagrama esquemático do sistema SIMPREBAL na arquitetura de 7 camadas

Com respaldo da arquitetura OSA-CBM, Lee et al (2004) apresentam um interessante sistema baseado em fusão sensorial, designado de WatchDog Agent (<http://www.imscenter.net>), no qual

descreve uma novo paradigma para sistemas de manutenção preditivos e preventivos usando o framework WatchDog Agent. A Figura (3.5) apresenta os módulos do sistema SIMPREBAL, baseado em MCC.

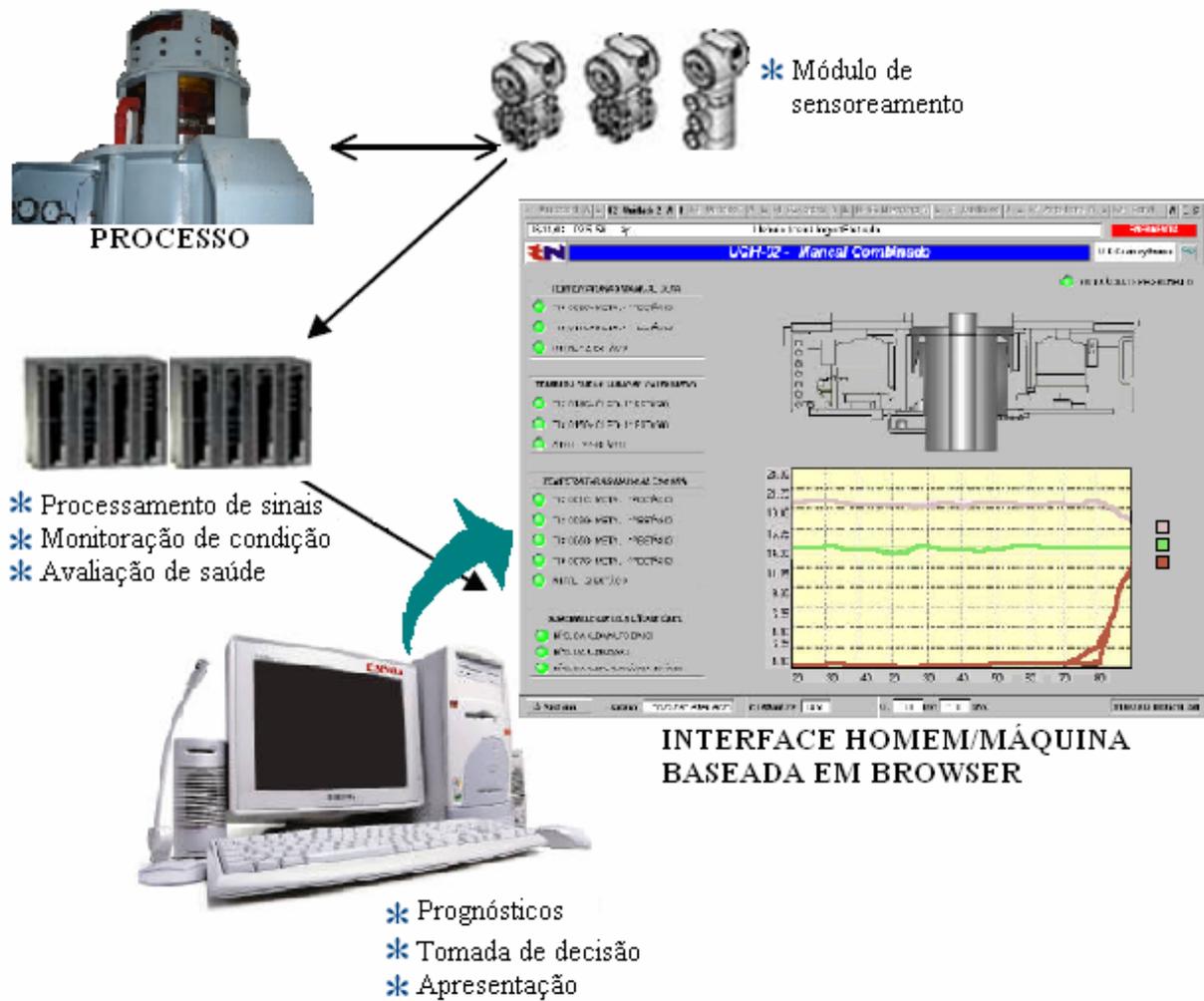


Figura 3.4 – Arquitetura do sistema SIMPREBAL.

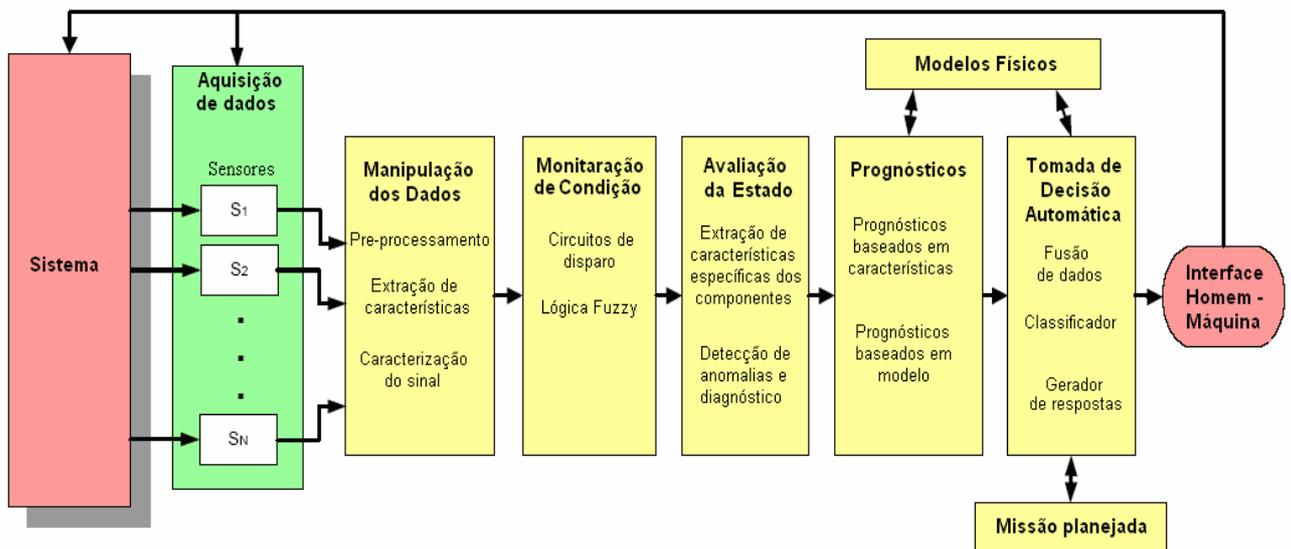


Figura 3.5 – Exemplo dos 7 módulos (camadas) da arquitetura OSA-CIM.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Este capítulo detalha os procedimentos desenvolvidos para implementação da metodologia MCC. Descreveu-se um memorial de cálculo, contendo algumas hipóteses e parâmetros assumidos, bem como, um estudo de caso, para cada etapa de implementação. O capítulo trata ainda de estudos probabilísticos, como o método de análise de Poisson e simulação de Monte Carlo desenvolvidos para a análise da confiabilidade do sistema da turbina da usina hidrelétrica de Balbina. Os resultados obtidos estão dispostos em anexo.

4.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE PARA MCC

A Figura (4.1) apresenta o processo proposto de avaliação da confiabilidade baseado nos dados históricos de falhas do Sistema da Turbina da UHE de Balbina, sendo constituído por seis atividades:

Seleção do sistema e coleta de informações: objetiva identificar e documentar o sistema que será submetido à análise. Nesta etapa o sistema deve ser delimitado, selecionando-se os sistemas e/ou equipamentos a serem analisados e, a partir de então, definem-se as fronteiras e interfaces (entradas e saídas) do objeto da aplicação.

Análise dos modos, efeitos e frequência de falhas: Consiste num levantamento de causas e efeitos de falhas para todos os componentes que compõem o sistema, e na construção de um Gráfico de Pareto, capaz de apresentar a frequência de falha dos componentes e a distribuição cumulativa de ocorrência de falhas, para definir os itens que afetam seriamente a falha entre os componentes do sistema;

Seleção de funções significantes: Consiste na priorização de componentes críticos para submissão às etapas subsequentes do processo decisório de manutenção baseada em confiabilidade, visto que, é inviável e dispendioso fazer monitoração de todos os parâmetros de todos os componentes do sistema.

Avaliação da confiabilidade e tendência de falha dos componentes: utiliza a técnica do gráfico de função de densidade de falha acumulada (gráfico log-log) para identificar o padrão de falha dos componentes monitorados. Utiliza como método de análise sobre o intervalo de estimação o parâmetro β associado à forma da distribuição de Poisson.

Proposta de política de manutenção eficiente: Determina o ótimo período de inspeção (periódica) e MTBF para os componentes do sistema, associado à uma política de manutenção baseada em condição. O período ótimo de inspeção pode ser encontrado através de simulações Monte Carlo. Ao final desta etapa, tem-se disponível um plano de manutenção eficiente baseado em MCC, o qual pode vir a substituir ou complementar o atual plano de manutenção do empreendimento em questão.

Sistema Especialista (SE) para diagnóstico e prognóstico de falhas: utiliza uma política de manutenção preditiva, manutenção baseada em condição (contínua e periódica), a partir das grandezas monitoradas pelo sistema de supervisão e controle da Smar e Rockwell (Rede Foundation FieldBus e DeviceNet) complementada por informações de inspeções periódicas, para realizar o diagnóstico e o prognóstico de falhas. O diagnóstico está associado à detecção da falha, isolamento e identificação das falhas quando elas ocorrem. Já o prognóstico foca na predição da falhas antes que elas ocorram. Obviamente, o prognóstico é superior ao diagnóstico no sentido que o prognóstico pode prevenir as falhas. Entretanto o prognóstico não pode substituir completamente o diagnóstico uma vez que, em situações práticas, sempre existirá algum tipo de falha que não pode ser prevista, ou seja, o prognóstico ou qualquer outra técnica de predição não pode garantir 100% de predição de falhas ou defeitos. No caso de insucesso da predição, o diagnóstico pode ser usado como ferramenta complementar de suporte de decisão para a manutenção.

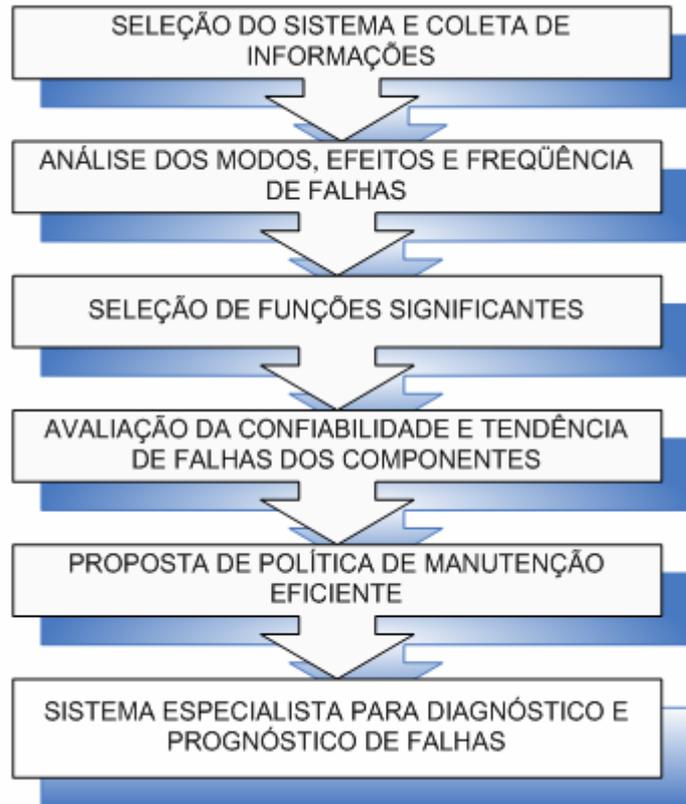


Figura 4.1 – Processo avaliação da confiabilidade para Manutenção MCC.

Diagnóstico: o diagnóstico de falha de máquina é um procedimento de mapeamento de informação obtida no espaço de medição e/ou características dentro do espaço de características para a falha da máquina pertencente ao espaço de falhas (árvore de falhas). Este processo de mapeamento é também chamado de reconhecimento de padrões. As abordagens mais utilizadas no reconhecimento de padrões são abordagens estatísticas ou baseadas em Inteligência Artificial (IA).

Prognóstico: a literatura relata dois tipos de prognóstico de máquinas. O primeiro e mais usual é chamado de Vida Útil Remanescente (vida residual) e refere-se à observação ao longo do tempo antes que uma falha ocorra, tendo como referência a idade da máquina, a sua condição e o perfil de operação passado. É similar ao diagnóstico utilizando abordagens estatísticas, IA e abordagens baseadas em modelo. A segunda técnica de prognóstico incorpora políticas de manutenção, sendo chamada neste caso de manutenção baseada em monitoração (CBM). A principal idéia do prognóstico incorporando políticas de manutenção é para otimizar a política de manutenção de acordo com certos critérios como risco, custo, confiabilidade e disponibilidade.

Este modelo aplicação está descrito em consistência com o padrão internacional vigente da IEC 60300-3-11, segundo o qual a implementação da metodologia MCC deve ser constituída essencialmente pelas cinco primeiras atividades supracitadas. O presente trabalho objetiva cobrir estas primeiras cinco atividades, ficando a última atividade – construção de sistema especialista para diagnóstico e prognóstico de falhas – como proposta para trabalhos futuros. Os resultados obtidos neste trabalho serão tomados como uma importante contribuição para a elaboração das regras de tomada de decisão do sistema especialista que vier a ser construído.

Em cada atividade, descrita no diagrama da Figura (4.1), serão utilizadas ferramentas de modelagem ou análise de sistemas destinadas a responder e, principalmente, documentar os critérios e respostas a cada questão da MCC. Estas atividades, ou etapas de aplicação, serão utilizadas como guia de implementação da MCC no restante deste trabalho.

4.2 SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES

O primeiro passo para aplicação da metodologia MCC é a seleção do sistema e coleta de informações, que objetiva identificar e documentar o sistema que será submetido à análise. A seleção do sistema, definição de seus subsistemas e de suas fronteiras foi desenvolvida de acordo com o padrão hierárquico de classificação de sistemas utilizado pela Eletronorte em suas usinas hidrelétricas. O sistema computacional que apresenta a documentação organizacional das usinas é denominado SAP/R3.

Uma vez que os dados referentes aos subsistemas da usina de Balbina não estão disponíveis no sistema SAP/R3, pois a usina não está cadastrada neste sistema, utilizaram-se, nesta etapa, informações referentes ao sistema da turbina da usina hidroelétrica de Samuel, acessados via SAP/R3. Optou-se por escolher os dados da usina de Samuel porque a mesma contém equipamentos iguais aos de Balbina. A Figura (3.2) mostra uma visão geral do SAP/R3, indicando a usina hidroelétrica de Samuel e sua hierarquia organizacional.

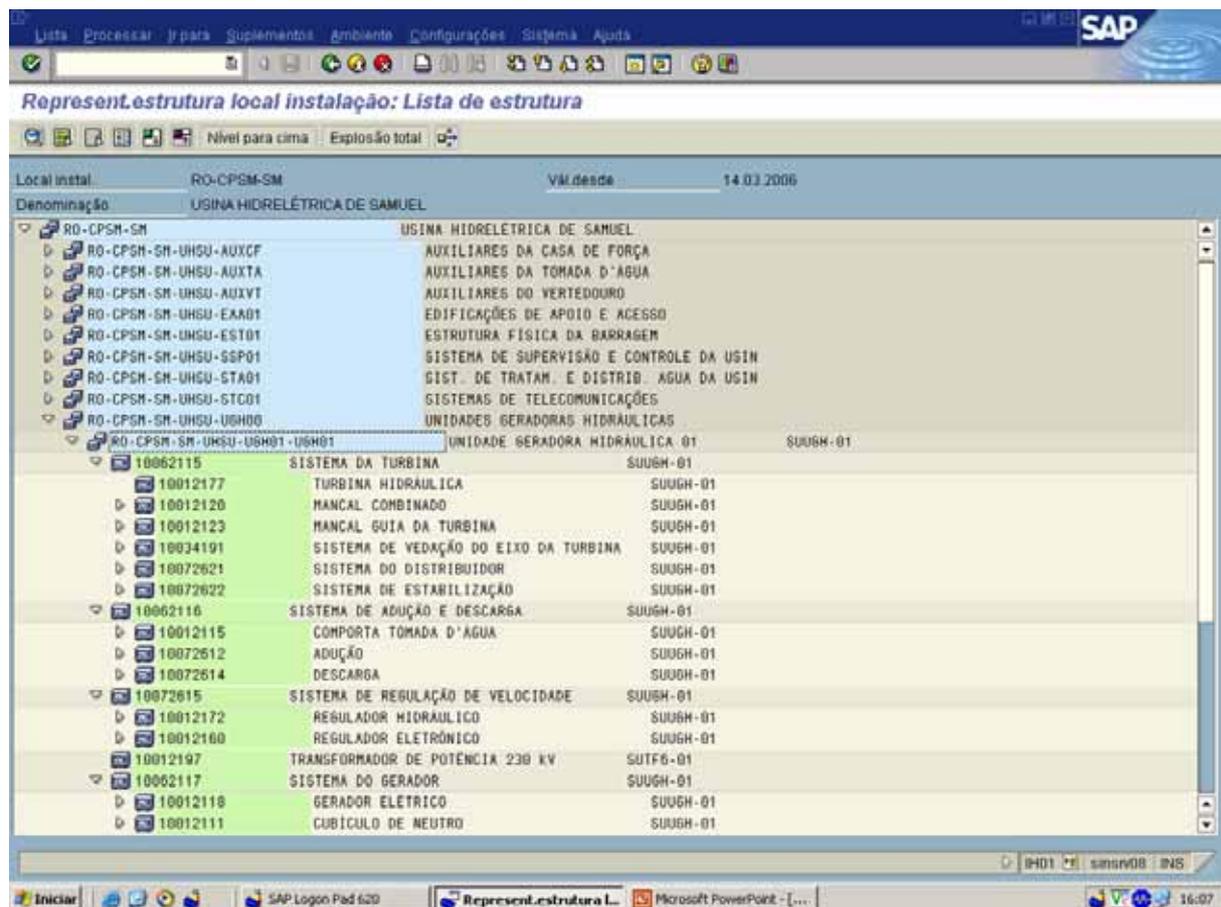


Figura 4.2 – Estrutura Organizacional de Samuel (SAP/R3, COGH).

Pela figura, nota-se que o sistema da turbina é composto por seis sistemas principais, denominados pelo SAP/R3 de equipamentos superiores. São eles: Turbina Hidráulica, Mancal Combinado, Mancal Guia da Turbina, Sistema de Vedação do Eixo da Turbina, Sistema do Distribuidor e Sistema de Estabilização. Cada equipamento superior contém uma série de subsistemas e cada subsistema contém uma extensa lista de componentes (Anexo I).

A partir dos componentes listados, de suas características e suas fronteiras funcionais, procede-se a definição de um diagrama de blocos de confiabilidade do sistema. O diagrama de blocos mostra a decomposição da confiabilidade do processo em blocos que caracterizam a confiabilidade de seus componentes. É construído a partir das relações de funcionamento entre os componentes. Para componentes em série, o bom funcionamento do conjunto ocorre somente quando todos blocos constituintes estão simultaneamente em bom estado, enquanto, para componentes em paralelo, o bom

funcionamento do conjunto ocorre quando pelo menos um de seus blocos constituintes está em bom estado.

Confeccionou-se um diagrama de blocos customizado, com imagens representativas dos subsistemas, e integrado com dados de manutenibilidade e confiabilidade. O Anexo II apresenta o relatório RBD (Reliability Block Diagram) gerado através do software Relex.

Para identificar, documentar e modelar o sistema por diagrama de blocos, é necessário conhecê-lo detalhadamente. Isto foi possível graças às várias conversas entre o autor do presente trabalho e os engenheiros e técnicos da equipe da Gerência de Operação e Manutenção da Geração Hidráulica (COGH) da Eletronorte, bem como, graças ao relatório de visita técnica, com descrições e fotografias dos equipamentos, enviado pela professora Antonieta Vieira (UFMA) em decorrência de sua visita a Usina de Balbina. As subseções seguintes descrevem o funcionamento e a monitoração e controle de cada equipamento e subsistema do Sistema da Turbina da usina em estudo.

4.2.1 TURBINA HIDRÁULICA

A turbina hidráulica da UHE de Balbina é do tipo Kaplan de eixo vertical. As turbinas Kaplan são compostas por um rotor¹ com pás em formato de hélice de avião. São dotadas de um dispositivo de regulação que possibilita o controle do fluxo de água por meio da abertura ou fechamento das pás, as quais são ditas ajustáveis. Cada pá está individualmente presa à ogiva do rotor, possuindo movimento de rotação em torno do próprio eixo, mudando de ângulo. Este movimento é simultâneo para todas as pás. Essas turbinas são comuns em baixas e médias quedas, e destacam-se por sua grande flexibilidade de ação frente às variações de capacidade, de velocidade e de queda. Conseguem alcançar velocidades maiores em relação aos outros tipos de turbinas em decorrência da regulação das pás motrizes.

Outros componentes relevantes das turbinas hidráulicas de Balbina são as tampas inferior e superior e o cabeçote.

As tampas são placas de aço inoxidável responsáveis por garantir a estanqueidade dos compartimentos da turbina, evitando o extravasamento de água para regiões que não sejam o tubo de sucção. A tampa superior é fixada na parte superior do pré-distribuidor por meio de prisoneiros, porcas e arruelas de segurança. A tampa inferior é montada no campo sobre o anel de descarga (cinta da roda), por meio de parafusos, sendo este conjunto centrado e soldado diretamente sobre o flange superior do tubo de sucção.

O cabeçote é região superior da turbina. É responsável pela condução de óleo às pás do rotor Kaplan e às palhetas móveis do distribuidor. O óleo destinado ao controle de fluxo de água (movimento das pás e palhetas) é denominado *óleo de regulação* e o óleo destinado à lubrificação dos componentes da ogiva do rotor é denominado *óleo de lubrificação*. O cabeçote também é responsável pelo isolamento acústico do grupo gerador-turbina, garantindo melhores condições de trabalho aos operadores.

A Figura (4.3) ilustra os principais componentes de uma turbina Kaplan.

¹ Neste trabalho os termos rotor e roda são usados indistintamente.

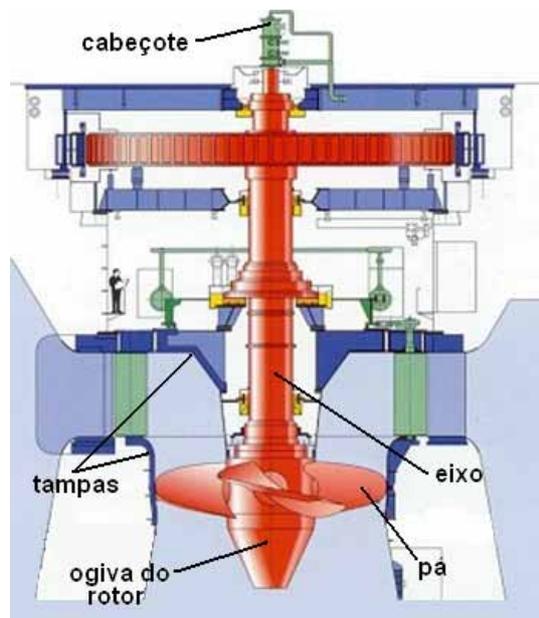


Figura 4.3 – Turbina Kaplan e seus principais componentes.

4.2.2 MANCAL DE ESCORA

O mancal de escora é do tipo a patins com cuba fixa apoiado sobre cone suporte e com sistemas auxiliares associados para dissipação de calor (sistemas de circulação de óleo e de resfriamento) e partida da unidade (sistema de injeção de óleo).

A função primordial do mancal é transferir os esforços axiais da turbina (empuxo hidráulico e peso próprio das peças girantes) ao concreto. No caso específico do mancal de escora de Balbina, os esforços não são simplesmente transmitidos, mas também equalizados por meio de um conjunto óleo-dinâmico (membranas e placas de assento). Diz-se, portanto, se tratar de um sistema auto-compensado.

O mancal é constituído de um conjunto de patins (segmentos) independentes, cada patim se apóia sobre uma membrana, fabricada em aço, com espessura fina, oferecendo uma grande flexibilidade. Estas membranas são fixadas sobre uma placa de assento, que transmite a carga ao suporte do mancal. A placa de assento possui canais que interligam as membranas. O conjunto formado por esses canais e pelas membranas forma uma câmara estanque, a qual é preenchida com óleo. A Figura (4.4) apresenta a placa de assento com seu conjunto de membranas e a colocação de alguns patins sobre a mesma.



Figura 4.4 – Montagem dos patins sobre o conjunto de membranas do mancal escora.

Quando o mancal é solicitado, surge uma pressão no interior da membrana, a qual aumentará até se equilibrar com a carga vertical que é aplicada. Há uma distribuição quase perfeita da carga aplicada, entre os patins, logo, a pressão do óleo é a mesma sobre cada um dos patins, e o esforço necessário para deformar as membranas é desprezível, diante da carga suportada pelo mancal.

Os patins, e a parte inferior do anel de escora ficam imersos no óleo. A cuba de óleo permite a formação de um filme de óleo entre o colar de escora (rotativo) e os patins (fixos). Este filme permite a transferência de cargas consideráveis com pequenos dispêndios de energia. A espessura nominal do filme de óleo para UHE Balbina é 9,0 centésimos de milímetro.

Uma rótula é montada no interior de cada uma das membranas, com a finalidade de permitir o funcionamento do mancal em caso de falta de óleo no circuito interno das membranas. Portanto, a rótula é um dispositivo de segurança. A Figura (4.5) mostra a representação de uma vista em corte do mancal de escora.

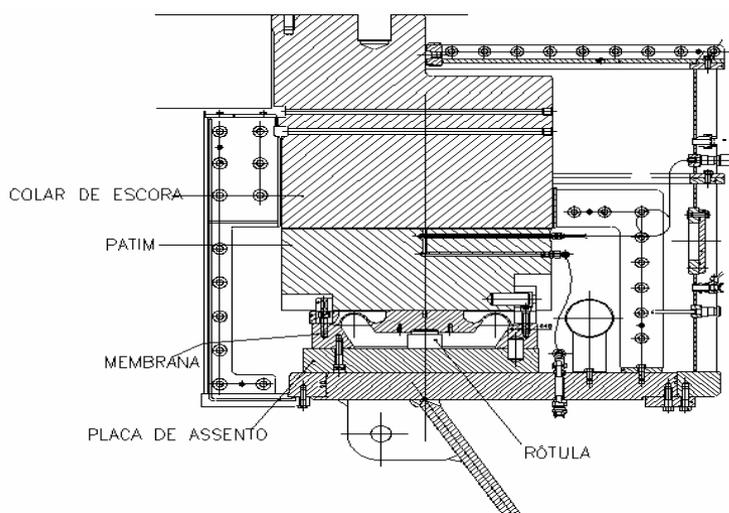


Figura 4.5 – Croqui do mancal de escora (vista em corte frontal).

4.2.3 MANCAL GUIA DA TURBINA

O conjunto do Mancal Guia da turbina é composto de um mancal de casquilho bi-partido em aço carbono com deposição de metal patente e um sistema de troca de calor em forma de serpentinhas. Este mancal tem função de transferir os esforços radiais do eixo da turbina ao concreto.

O casquilho é constituído de duas partes (bi-partido) montadas através de tirantes especiais. Este equipamento é fixado na tampa superior interna por meio de parafusos e tem em seu diâmetro interno seis setores de metal patente distribuídos simetricamente. O metal patente é constituído de uma liga de estanho, cobre e antimônio, e tem por objetivo suportar o empuxo radial do eixo da turbina. Trata-se de uma proteção do mancal contra desalinhamento em relação ao eixo. É uma espécie de “fusível” mecânico, uma vez que, na ocorrência de desalinhamento, o metal patente se choca contra o eixo da turbina e se destrói, evitando o contato direto do casquilho com o eixo, o que poderia causar prejuízos maiores. As Figuras (4.6) e (4.7) mostram um croqui do mancal guia, de casquilho bi-partido.

O casquilho fica imerso em óleo, o qual é armazenado por uma cuba superior e uma inferior ao mancal. As porções não preenchidas pelo metal patente servem para fuga do óleo, que induzirá o óleo a subir e lubrificar a camisa do eixo, até retornar a cuba por intermédio de furos localizados na parte superior do casquilho. A temperatura e o volume de óleo lubrificante na cuba são monitorados através de dois sensores de temperatura e um medidor de nível com quatro pontos. O volume mínimo de óleo na cuba é de 600 litros e a temperatura máxima da cuba não deve exceder 70°C. O mancal é constantemente alimentado por óleo frio através de bombas.

O sistema de refrigeração do óleo do mancal guia utiliza água fria fornecida pelo sistema de refrigeração da usina que circula através de duas serpentinhas de cobre localizadas na tampa inferior do mancal diametralmente opostas. A serpentina circula por toda a cuba de óleo, tanto em altura quanto

em largura da cuba, para que possa trocar o calor de todo o óleo armazenado. Ao término do processo a água, já aquecida, é encaminhada até o sistema de drenagem da usina.

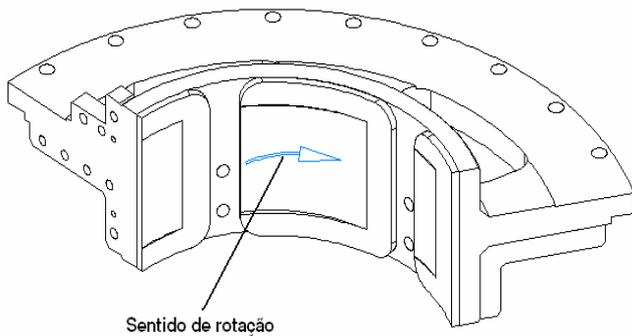


Figura 4.6 – Mancal de casquilho bi-partido (vista isométrica).

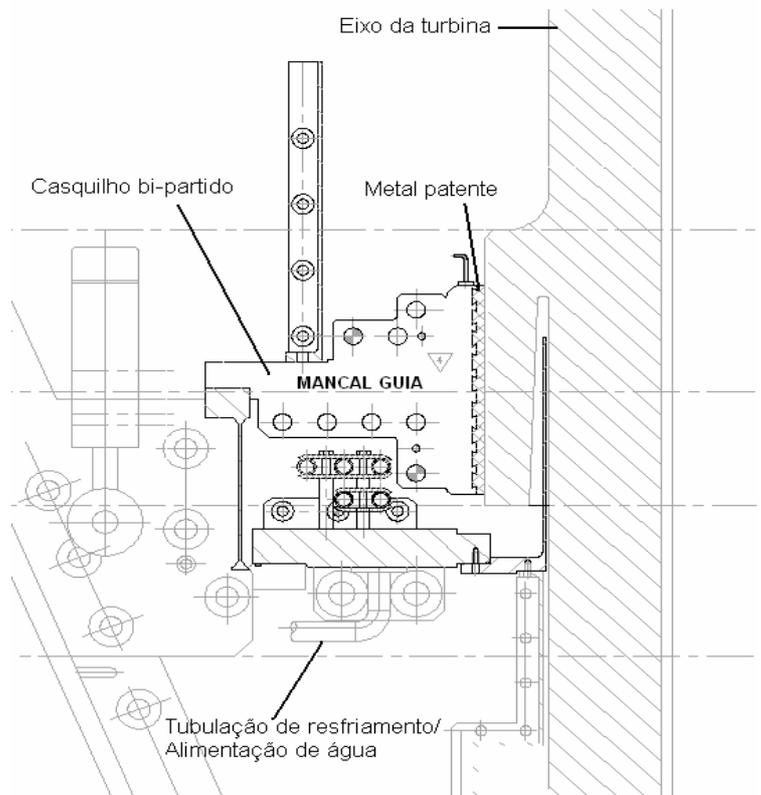


Figura 4.7 – Mancal guia (vista frontal).

4.2.4 SISTEMA DE VEDAÇÃO DO EIXO

O sistema de vedação do eixo da turbina é responsável por impedir que a água canalizada pela caixa semi-espiral invada o eixo da turbina e contamine o óleo do mancal guia prejudicando a formação do filme de óleo e trazendo conseqüências desastrosas à unidade. Este sistema é composto por dois subsistemas: o subsistema de vedação propriamente dito, e o subsistema de drenagem. Sendo que este último é responsável por retirar a água que porventura penetre nas regiões acima da tampa superior.

O subsistema de vedação é formado por uma junta hidráulica localizada próximo ao acoplamento rotor Kaplan/eixo da turbina. A vedação do eixo é formada por 5 anéis de vedação fabricados em PTFE (teflon) + Grafite, juntamente com um anel distribuidor, travados por um anel prensa gaxeta fixado na face superior do porta-gaxeta. Gaxetas são elementos mecânicos utilizados para vedar a passagem de um fluxo de fluido de um local para outro. Esses elementos são lubrificados por uma injeção de água limpa distribuída por todo o contorno do porta-gaxeta. A injeção de água é desenvolvida pelo sistema de água de selagem, pertencente ao subsistema de vedação. A água sob pressão, injetada em direção oposta à tendência de entrada da água de serviço, colabora com o mecanismo de vedação.

A junta hidráulica faz a vedação do eixo sobre uma bucha de aço inoxidável, que é fixada e travada sobre o eixo. Um sensor de temperatura permite a monitoração da temperatura no porta-gaxeta. A Figura (4.8) mostra uma planta do sistema de vedação do eixo.

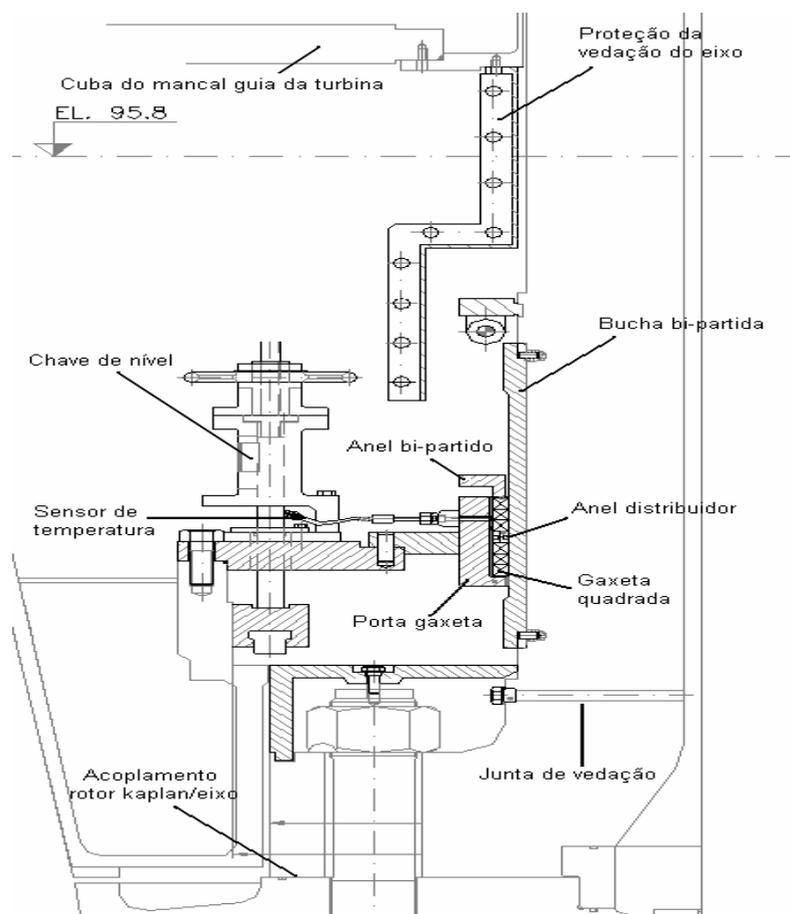


Figura 4.8 – Sistema de vedação do eixo da turbina.

As fugas d'água são recuperadas por uma tubulação de 4 polegadas e evacuadas por gravidade até o coletor de drenagem (poço da turbina). Dois dispositivos de assistência, compreendendo dois conjuntos moto-bomba – auxiliar e reserva – e um controlador de nível, permitem ainda, se necessário, a evacuação forçada das fugas. Estes dispositivos funcionam em paralelo, sendo um deles responsável pela drenagem da superfície externa da tampa e outro pela superfície interna (água da vedação do eixo). O controlador de nível possui 3 contatos diferentes que provocam sucessivamente:

- Interrupção do funcionamento da bomba ora em operação.
- Início do funcionamento da bomba.

Todos os níveis de água compreendidos até esta altura devem ser considerados como nível normal em funcionamento.

- Alarme de nível alto e eventual parada da unidade.

4.2.5 SISTEMA DO DISTRIBUIDOR

O sistema do distribuidor é formado por um pré-distribuidor e pelo distribuidor.

A finalidade do pré-distribuidor é direcionar a água para a entrada do distribuidor. É composto de dois anéis superiores, entre os quais são montados um conjunto de 20 palhetas fixas, com perfil hidrodinâmico de baixo arrasto, para não gerar perda de carga e não provocar turbulência no escoamento. É uma parte sem movimento, soldada à caixa semi-espiral e fabricada com chapas de aço carbono.

O distribuidor é um dispositivo que controla a potência da turbina pois regula vazão de água. Tem objetivo de manter a velocidade de rotação do eixo em 105,88 rpm. É composto de uma série de 20 palhetas móveis, acionadas por um mecanismo hidráulico montado na tampa superior da turbina (sem

contato com a água). Todas as palhetas tem o seu movimento conjugado, isto é, todas se movem ao mesmo tempo e de maneira igual.

O acionamento é feito por dois pistões hidráulicos, controlados por servomotores, que operam numa faixa de pressão de 28 bar. O movimento de abertura/fechamento realizado pelos servomotores é transmitido às palhetas por meio de um anel de regulação ligado diretamente aos servomotores por bielas e pinos e a cada uma das palhetas diretrizes por meio do mecanismo de regulação. O anel se desloca tangencialmente ao eixo da unidade guiado por pistas auto-lubrificantes.

4.2.6 SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO

O sistema de regulação tem a finalidade de equilibrar a pressão de dentro da tampa superior interna. O objetivo é suprir automaticamente de ar a parte superior do rotor para aniquilar eventuais formações de vácuo, as quais podem provocar oscilações na velocidade de rotação. O sistema de estabilização é constituído basicamente por uma válvula de aeração.

A válvula de aeração tem como dispositivo de acionamento uma mola projetada a suportar uma pressão definida. Quando a pressão dentro da tampa superior interna for menor que a pressão atmosférica a mola empurrará o obturador para baixo e será inserido ar para compensação e quando a pressão de dentro se tornar maior do que a pressão atmosférica a mola será contraída e selará o canal.

4.3 ANÁLISE DOS MODOS, EFEITOS E FREQUÊNCIA DE FALHAS

Além dos resultados documentais, a identificação, descrição e delimitação do sistema promove um entendimento do funcionamento da instalação, necessário à segunda etapa da metodologia: Análise dos Modos, Efeitos e Frequência de Falhas. Nesta etapa, são identificadas as funções desempenhadas pelo sistema e analisadas as possíveis falhas associadas a cada função.

Para isto, será importante definir, inicialmente o conceito de Função adotado pela MCC:

Função é o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de performance especificado.

Destaque-se nesta definição, que as funções descrevem os objetivos da existência dos sistemas na visão dos seus usuários. Como tal, estabelecem também as possibilidades de falhas, novamente na visão destes usuários.

Prevenir e corrigir falhas são os objetivos primários da manutenção. Para isto é necessário conhecer as formas como os sistemas falham. O estudo das falhas funcionais constitui parte essencial da Manutenção Centrada na Confiabilidade, seguindo-se à identificação e documentação das funções.

4.3.1 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS - FMEA

Inicialmente faz-se o levantamento das funções e dos modos e efeitos de falhas, FMEA, a partir da descrição textual do sistema desenvolvida na seção anterior, dos registros de cartões de anormalidades (ordens de serviços de manutenção) da usina hidrelétrica de Samuel, acessados via SAP/R3, dos planos de manutenção atuais da usina de Balbina e dos descritivos funcionais e de instrumentação dos equipamentos e componentes. A documentação da análise FMEA foi desenvolvida segundo o formulário padronizado mostrado na Tab. (4.1).

Tabela 4.1 – Formulário padronizado de análise FMEA.

IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
IDENTIFICAÇÃO DO SUBSISTEMA					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	PERDA DE FATURAMENTO	CORTE DE CARGA	DETECÇÃO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
FUNÇÃO												
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA								

A seguir há uma explicação de cada coluna do formulário apresentado.

Função: Descrição da função do subsistema ou equipamento.

Componente: Identificação do componente.

Função do componente: Descrição sucinta e exata da tarefa que o componente deve desempenhar.

Falha funcional: Descrição de todas as possíveis falhas pertinentes a cada componente.

Modo de falha: Descrição simples e concisa das ocorrências (causas) que podem dar origem ao tipo de falha considerado.

Efeito da falha: Conseqüência da ocorrência da falha, percebida ou não pelo usuário final. Pode ser local (não afeta os outros componentes) ou global (pode afetar outras funções ou componentes).

Fatores para avaliação do componente: Consiste numa série de critérios utilizados para avaliar a criticidade ou prioridade de risco de um componente. Nesta avaliação é considerada a influência de três parâmetros: severidade, ocorrência e detecção das falhas. Para padronizar e tornar menos subjetiva a avaliação da severidade de cada falha funcional, foram categorizadas três classes de efeitos de falhas: os que afetam a segurança e o meio ambiente, os que provocam perda de faturamento, e os que provocam corte de carga. A seguir há uma descrição mais detalhada das classes de efeitos das falhas.

Segurança e/ou o meio ambiente: Caracteriza a severidade de uma falha de acordo com a intensidade com que ela pode afetar a segurança dos funcionários ou o meio ambiente, conforme estabelecido pelas normas ISO de segurança e proteção ao meio ambiente. A Tabela (4.2) mostra o significado dos valores atribuídos aos índices de classificação das falhas quanto à intensidade com que afetam a segurança e/ou o meio ambiente.

Perda de faturamento: Indica o grau com que uma determinada falha afeta a economia da usina, na medida em que afeta a geração de energia a capacidade total. A Tabela (4.3) apresenta o significado dos valores atribuídos aos índices de perda de faturamento.

Corte de carga: Indica a probabilidade de a falha provocar parada da unidade geradora. Os critérios de classificação dos índices de corte de carga são mostrados na Tab. (4.4).

Tabela 4.2 – Significado dos índices de segurança e/ou meio ambiente.

Segurança e/ou Meio Ambiente	
1	Não afeta a segurança e/ou o meio ambiente
2 – 3	Remota possibilidade de afetar a segurança e/ ou o meio ambiente
4 – 6	Possibilidade moderada de afetar a segurança e/ou o meio ambiente
7 – 8	Grande possibilidade de afetar a segurança e/ ou o meio ambiente
9	Afeta a segurança e/ ou o meio ambiente
10	Afeta gravemente a segurança e/ ou o meio ambiente

Tabela 4.3 – Significado dos índices de Perda de faturamento.

Perda de Faturamento	
1	Não provoca perda de faturamento
3 – 5	Pode provocar perda de faturamento menor que 2,5% da receita mensal
7 – 10	Pode provocar perda de faturamento maior ou igual a 2,5% da receita mensal

Tabela 4.4 – Significado dos índices de corte de carga.

Corte de Carga	
1	Não provoca corte de carga
3	Risco remoto de provocar corte de carga
5	Risco moderado de provocar corte de carga
7	Provoca corte de carga de até 5% da carga da instalação
10	Provoca corte de carga maior ou igual a 5% da capacidade máxima da instalação

Os parâmetros de avaliação da criticidade das falhas são descritos abaixo:

Severidade: Trata-se de um índice que reflete a gravidade das conseqüências de uma falha. Quanto maior o índice, maior a gravidade. O índice de severidade foi assumido como sendo igual ao maior índice dentre os índices das três classes de efeitos de falhas descritos anteriormente (segurança e meio ambiente, perda de faturamento ou corte de carga). A Tabela (4.5) apresenta o padrão utilizado para quantificação da gravidade das falhas em índices de severidade.

Ocorrência: É um índice de definido em função do número de ocorrências de falhas registrados no SAP/R3 no período considerado (2002 a 2005). A Tabela (4.6) relaciona os valores e conceitos dos índices de ocorrência.

Detecção: É um índice construído com base na estimativa da probabilidade de uma falha ser detectada, assumindo-se que ela tenha ocorrido. A Tabela (4.7) relaciona os valores e conceitos dos índices de detecção.

Tabela 4.5 – Significado dos índices de severidade.

Severidade	
1	Falha de menor importância
2 – 3	Provoca redução da performance do componente
4 – 6	O componente sofrerá uma degradação progressiva
7 – 8	O componente não desempenha sua função
9	Colapso do processo
10	Os problemas são catastróficos e podem ocasionar danos a bens ou pessoas

Tabela 4.6 – Significado dos índices de ocorrência de falhas (Período Analisado: 2002 a 2005).

Ocorrência	
1	Menor ou igual a 1 em 8 anos
2	1 falha no período analisado
3	2 falhas
5	3 falhas
7	4 falhas
10	5 ou mais falhas

Tabela 4.7 – Significado dos índices de detecção.

Detecção	
1	Probabilidade muito alta de detecção
2 – 3	Probabilidade alta de detecção
4 – 6	Probabilidade moderada de detecção
7 – 8	Probabilidade pequena
9	Probabilidade muito pequena
10	Probabilidade remota

Número de Prioridade de Risco (NPR): valor calculado pelo produto dos três índices anteriores (*Severidade x Ocorrência x Detecção*). É utilizado para a priorização da tomada de ação. É uma maneira prática de priorizar certas falhas e avaliar quais providências devem ser tomadas primeiramente. Vale ressaltar que os índices de ocorrência, severidade e detecção foram utilizados para avaliar a importância das falhas funcionais e, portanto, atribuídos a cada uma das falhas funcionais de cada componente, enquanto o NPR foi utilizado para avaliar os próprios componentes. Conseqüentemente, nos componentes que apresentam mais de uma falha funcional, o NPR do componente foi definido como sendo igual ao maior NPR de suas falhas funcionais.

Tarefa proposta para manutenção: São medidas que objetivam corrigir de forma eficiente as falhas identificadas, ou prevenir sua ocorrência, ou impedir que cheguem ao cliente (Fonseca, 1995).

O Anexo V mostra o relatório padronizado FMEA para o Sistema da Turbina.

Foram destacados no relatório os componentes com maior índice de prioridade de risco, isto é, equipamentos cujo produto dos índices de severidade, ocorrência e detecção fosse maior que 45. Tais componentes são mostrados na Tabela (4.8).

Tabela 4.8 – Componentes Críticos.

Equipamento	Subsistema	Componente	Índice de prioridade de risco (NPR)
Turbina		Pás	60
Sistema de vedação do eixo	Sistema de drenagem	Válvulas	60
Mancal guia	Cuba	Óleo lubrificante	60
Mancal guia	Sistema de resfriamento	Tubulações e conexões	60
Mancal de escora	Cuba	Óleo lubrificante	60
Mancal de escora	Sistema de circulação	Válvula de alívio de pressão	60
Mancal de escora	Sistema de resfriamento	Trocador de calor	56
Sistema do distribuidor	Palheta diretriz	Palheta	50
Sistema de vedação do eixo	Sistema de drenagem	Tubulações e conexões	50
Mancal de escora	Sistema de injeção	Motobomba	50
Sistema de vedação do eixo	Sistema de vedação	Termostato	49
Sistema do distribuidor	Servomotor	Trava de segurança	48

As falhas nas pás da turbina são extremamente graves, pois provocam vibração excessiva no eixo da turbina ocasionando oscilações inaceitáveis na potência elétrica gerada. A manutenção de tais falhas exige a parada da máquina e o esvaziamento dos canais de adução e descarga, trazendo sérios prejuízos à instalação. Tais falhas ocorrem devido ao funcionamento incorreto do sistema de estabilização ou do sistema de controle de posição das palhetas do distribuidor ou, ainda, devido ao desalinhamento da roda em relação ao eixo.

O mancal de escora é o equipamento mais crítico do sistema, pois possui maior número de componentes com alta prioridade de risco. As falhas na cuba decorrem em função do baixo nível de óleo lubrificante ou por contaminação, má qualidade ou alta temperatura do óleo. As falhas nos trocadores de calor ocorrem principalmente devido à presença de impurezas no radiador ou por vazamentos em sua tubulação contaminando o óleo lubrificante com água. E as falhas nas válvulas ocorrem principalmente devido ao desgaste excessivo da sede ou engripamento da haste. O desgaste da sede se dá em função do desalinhamento entre a sede e a guia da válvula, enquanto o engripamento da haste, em função da folga insuficiente entre a haste e a guia da válvula ou devido à excessiva sobrecarga (superaquecimento), o que leva ao arraste e incrustação de material da guia na haste.

A elaboração do relatório de análises de modos e efeitos de falhas (FMEA) é de grande importância para se conhecer as relações de causalidade das falhas funcionais. A partir do FMEA e do estudo estatístico das falhas tem-se as bases para elaboração da árvore de falhas (FT) dos equipamentos, a qual será descrita numa subseção futura.

4.3.2 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE FALHAS

Além do relatório FMEA, foi desenvolvido nesta etapa um levantamento de frequências de falhas dos componentes utilizando um Gráfico de Pareto a partir dos registros históricos de falhas da unidade geradora hidráulica 01 da usina de Samuel de acordo com os cartões de anormalidade registrados no sistema SAP/R3. Estes dados são apresentados nos Gráficos 4.1 a 4.6.

O gráfico 4.7 mostra uma comparação entre o número de falhas de cada equipamento do sistema da turbina. Observa-se que o mancal de escora é responsável por 56,4% do total de falhas do sistema.

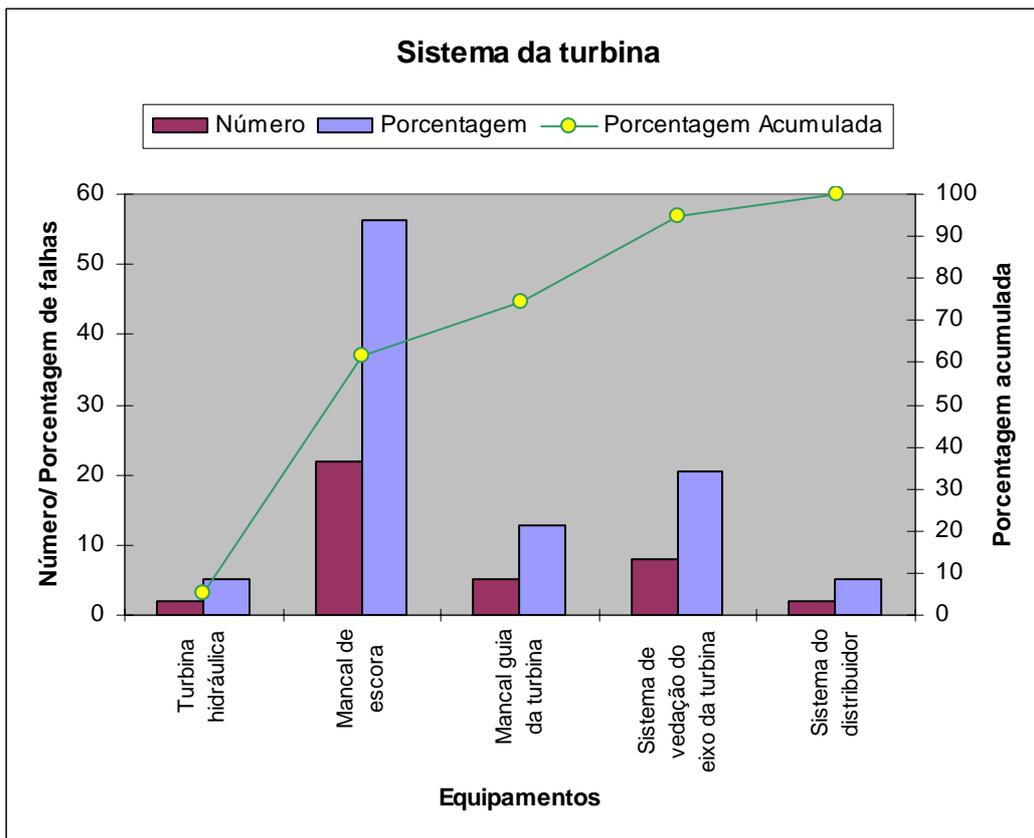


Gráfico 4.1 – Quantidade de falhas dos equipamentos do Sistema da Turbina (Gráfico de Pareto).

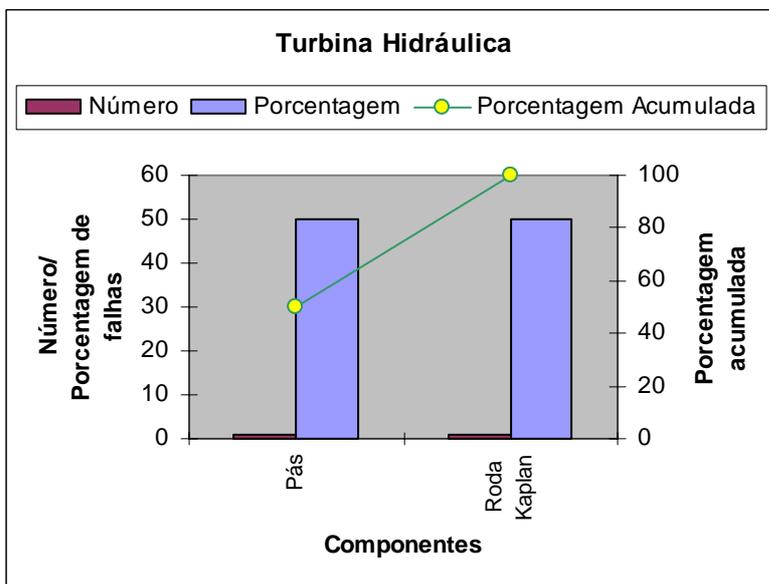


Gráfico 4.2 – Quantidade de falhas dos componentes da Turbina (Gráfico de Pareto).

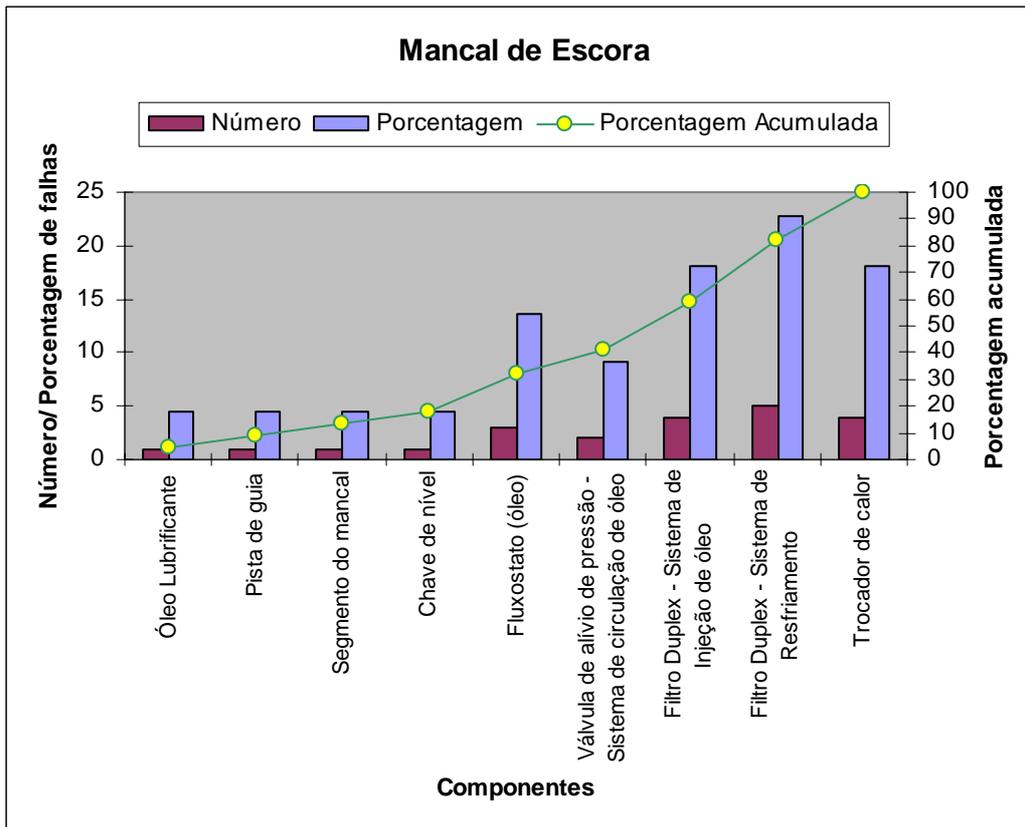


Gráfico 4.3 – Quantidade de falhas dos componentes do Mancal de Escora (Gráfico de Pareto).

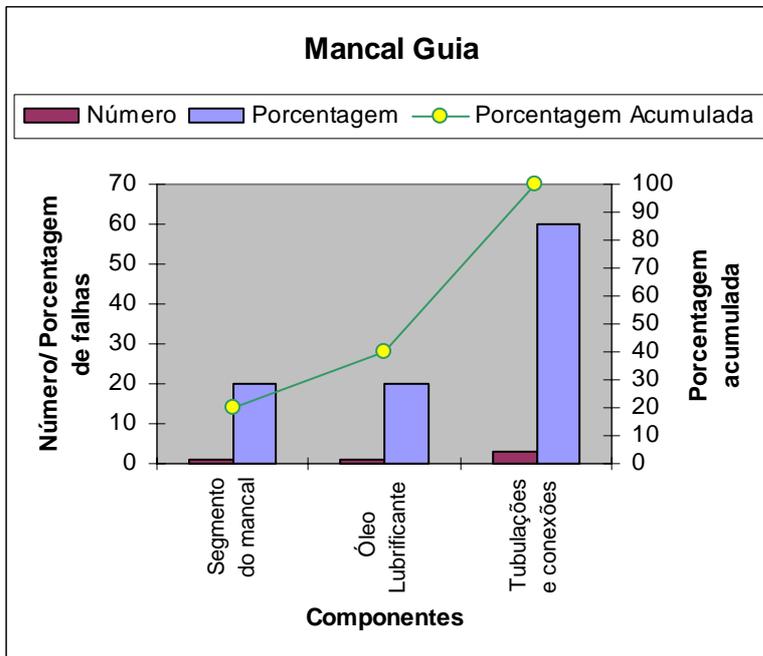


Gráfico 4.4 – Quantidade de falhas dos componentes do Mancal Guia (Gráfico de Pareto).

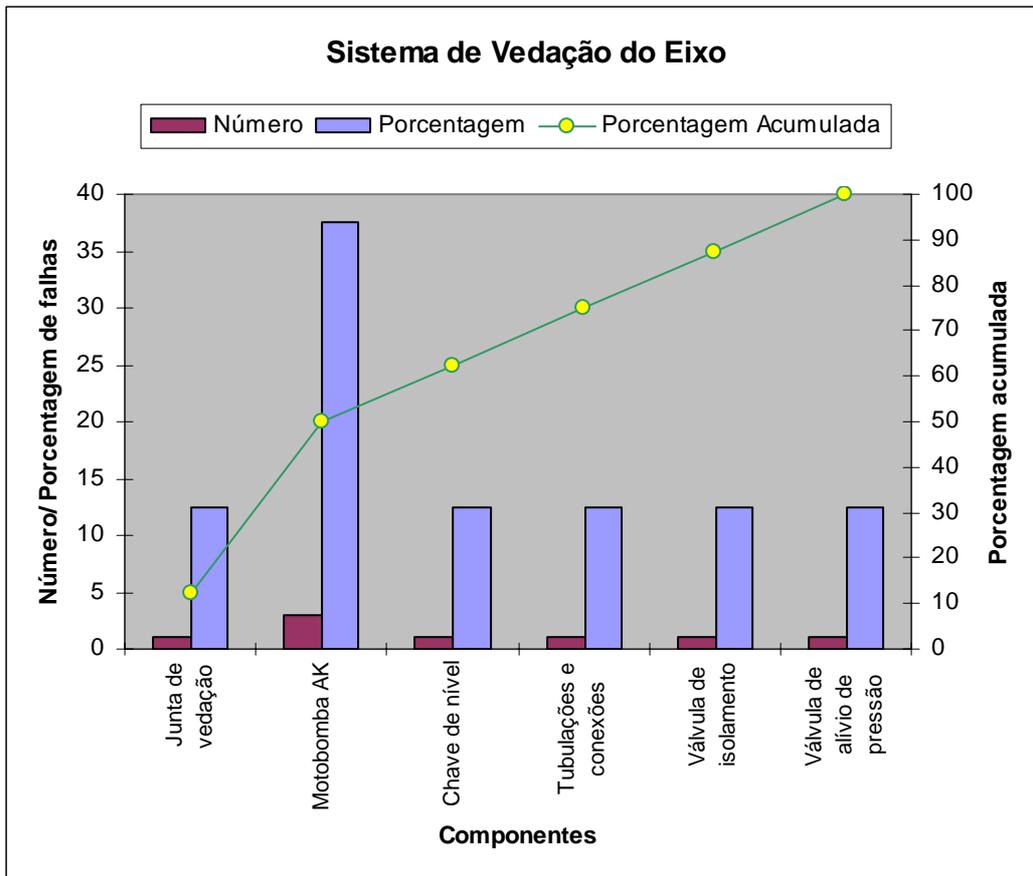


Gráfico 4.5 – Quantidade de falhas dos componentes do Sistema de Vedação (Gráfico de Pareto).

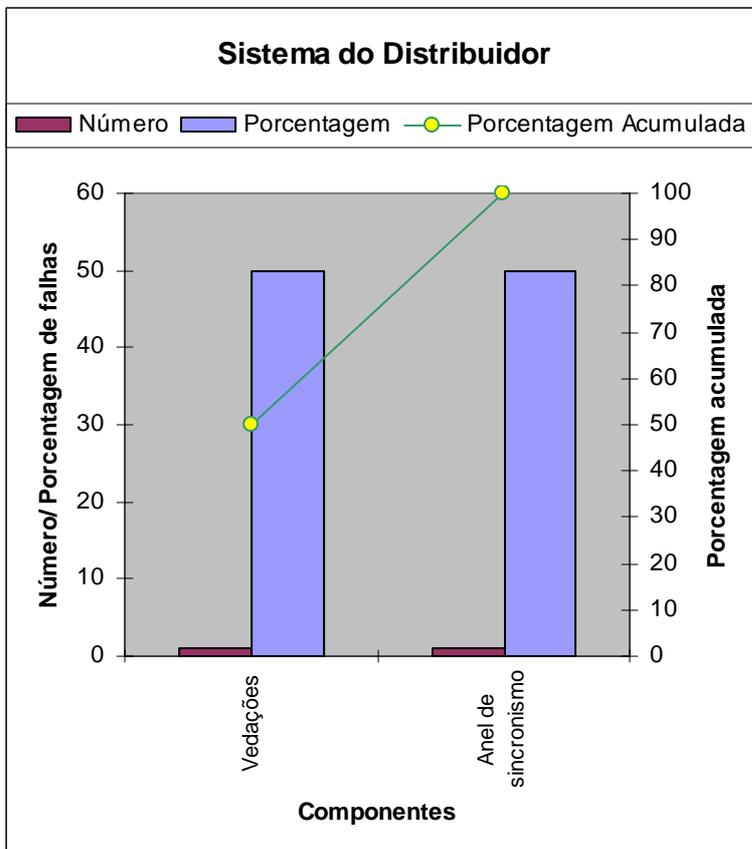


Gráfico 4.6 – Quantidade de falhas dos componentes do Sistema do Distribuidor (Gráfico de Pareto).

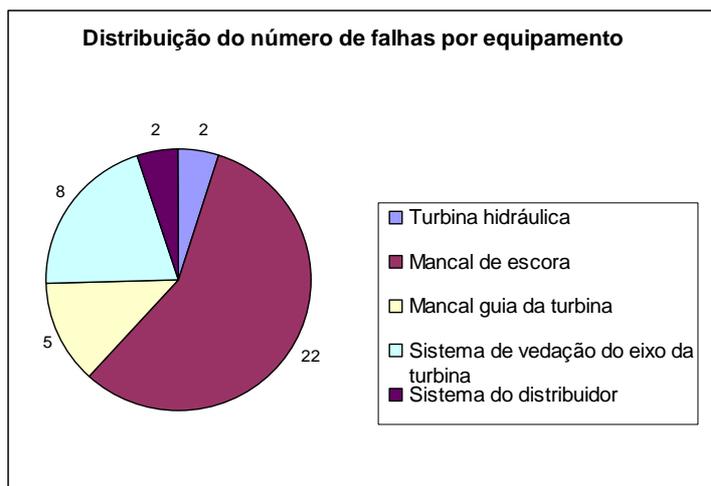


Gráfico 4.7 – Distribuição do número de falhas por equipamento

A tendência de ocorrência de falha é apresentada na forma de um gráfico logarítmico – ln (número de falhas acumuladas) x ln (tempo em horas) – mostrando o comportamento do número de falhas ao longo do tempo. Para elaboração deste gráfico, foram utilizados os registros de desligamentos e intervalos de tempos de parada da unidade geradora hidráulica 01 da usina de Samuel (SAP/R3 e Info_opr). Os gráficos 4.8 a 4.11 apresentam gráficos log-log de tendência de ocorrência de falhas para o sistema da turbina e todos os seus equipamentos. Tais gráficos foram construídos utilizando-se a ferramenta computacional RGA versão 6 da Reliasoft Office. Vale observar que não foi possível traçar um gráfico de tendência de falhas para os componentes da turbina hidráulica e do sistema do distribuidor visto que se tem registrado para cada um destes equipamentos apenas duas falhas enquanto os cálculos de tendência de falhas segundo o modelo Crow-AMSAA (NHPP) e análise do tipo Máxima verossimilhança (MLE) exigem uma quantidade mínima de três falhas.

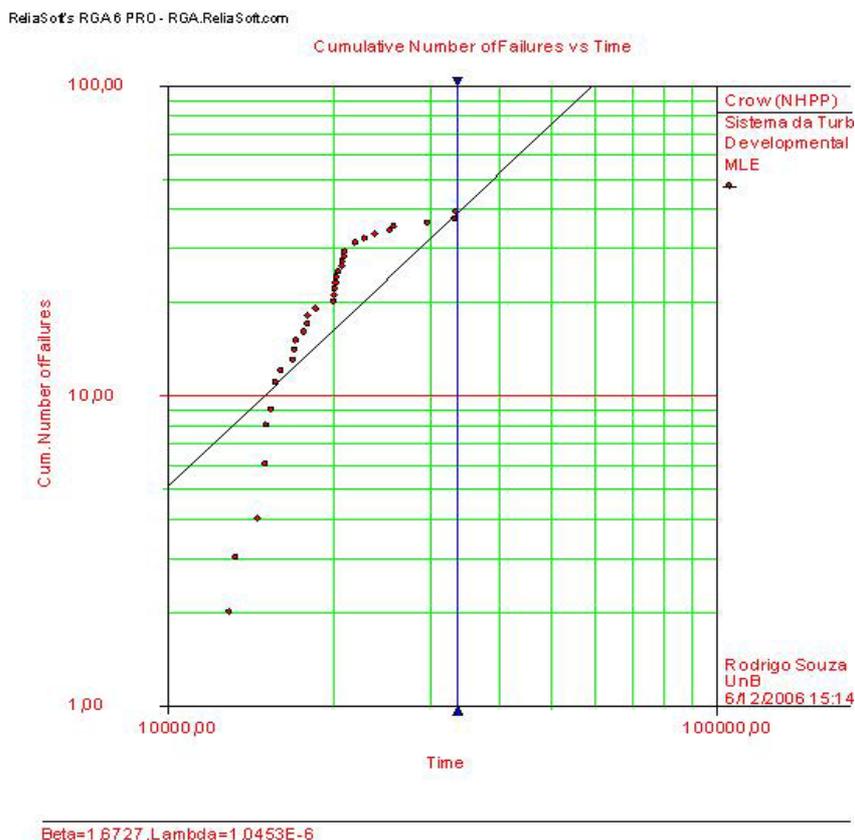
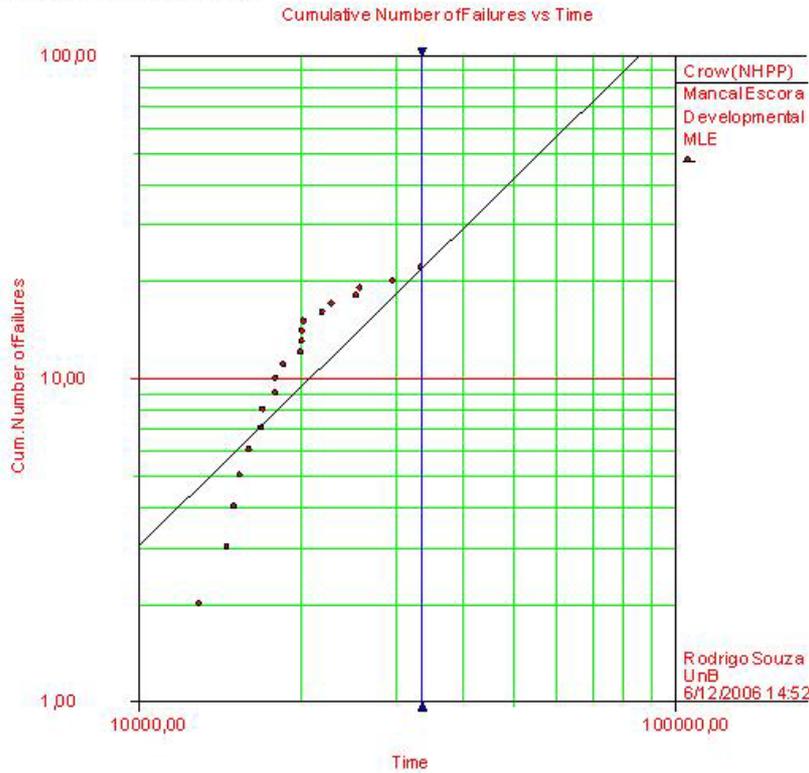
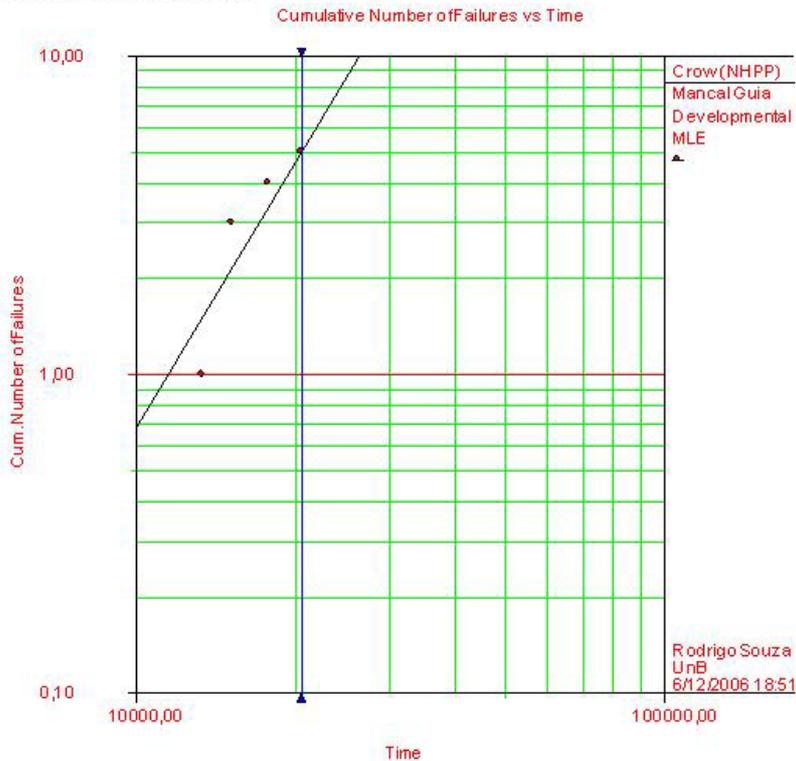


Gráfico 4.8 – Tendência de ocorrência de falhas para o Sistema da Turbina



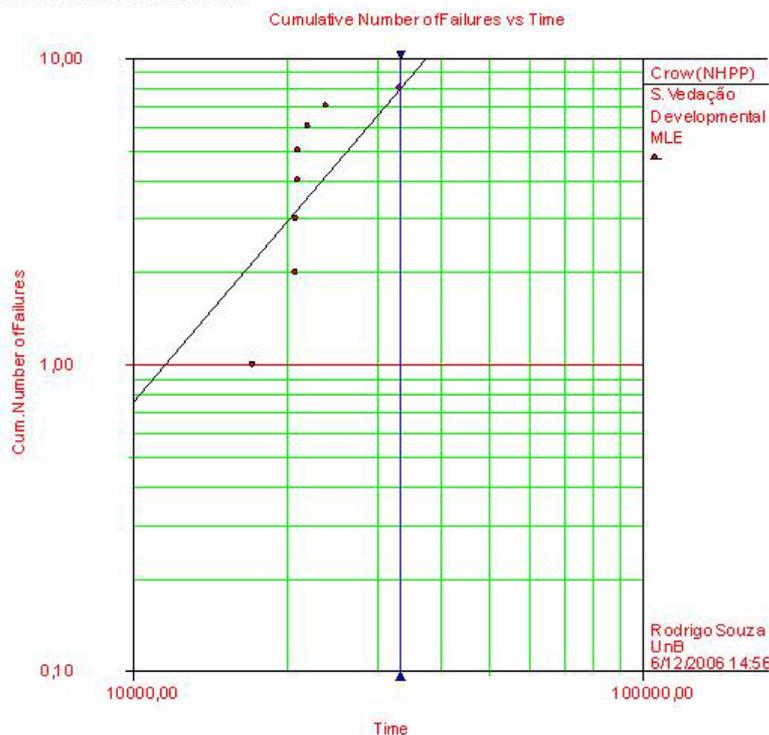
Beta=1,6270,Lambda=9,4932E-7

Gráfico 4.9 – Tendência de ocorrência de falhas para o Mancal de Escora



Beta=2,7631,Lambda=6,0983E-12

Gráfico 4.10 – Tendência de ocorrência de falhas para o Mancal Guia



Beta=1,9509,Lambda=1,1993E-8

Gráfico 4.11 – Tendência de ocorrência de falhas para o Sistema de Vedação do Eixo

4.3.3 ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS - FTA

A análise de árvore de falhas consiste na construção de um diagrama lógico, através de um processo dedutivo que partindo de um evento indesejado pré-definido, busca as possíveis causas de tal evento. O processo segue investigando as sucessivas combinações de falhas dos componentes até atingir as chamadas falhas básicas (ou eventos básicos), as quais constituem o limite de resolução da análise. O evento indesejado é comumente chamado de evento topo da árvore. Portanto, o conceito fundamental da FTA consiste na tradução de um sistema físico em um diagrama lógico estruturado, FT, em que certas causas específicas conduzem a um evento topo de interesse.

Neste trabalho, o sistema físico traduzido em diagrama lógico é o Sistema da Turbina e o evento de topo é o corte de carga ou parada da máquina. Isto é, foram estudadas todas as possíveis causas que conduzem ao desligamento da unidade geradora. O Anexo IV mostra a árvore de falhas do sistema da turbina gerada no software Relex.

Estruturada a árvore, procede-se a definição dos cortes mínimos, isto é, das combinações mínimas de eventos que quando ocorridas levam falha do sistema. O software Relex encarrega-se de encontrar tais combinações mínimas e, dada a probabilidade de ocorrência de cada evento básico, calcular a probabilidade de ocorrência de cada corte mínimo. Os caminhos críticos da árvore, isto é, os cortes mínimos com maior probabilidade de ocorrência são mostrados na Tabela (4.9) a seguir.

Tabela 4.9 – Caminhos críticos da árvore de falhas.

Equipamento	Evento Básico	Probabilidade do corte mínimo
Mancal Guia	Corrosão na tubulação da serpentina do sistema de resfriamento de óleo	8,57E-05
Mancal de escora	Desgaste na sede da válvula do sistema de circulação de óleo	5,72E-05

Mancal de escora	Corrosão dos patins da cuba	2,86E-05
Mancal guia	Desgaste do metal patente da cuba	2,86E-05
Sistema de vedação do eixo	Desgaste dos anéis de vedação	2,86E-05
Sistema de vedação do eixo	Vazamento na tubulação de drenagem	2,86E-05
Sistema de vedação do eixo	Desgaste na sede da válvula de alívio do sistema de drenagem	2,86E-05
Sistema de vedação do eixo	Quebra do mecanismo interno da válvula de alívio do sistema de drenagem	2,86E-05
Sistema do distribuidor	Deterioração das buchas de fixação das palhetas	2,86E-05

Nota-se, como anteriormente determinado pela avaliação FMEA, que as tubulações do mancal guia, as cubas dos mancais de guia e escora, as válvulas de circulação de óleo do mancal de escora e as tubulações e válvulas do sistema de vedação do eixo devem ser considerados com relativa importância pelos planos de manutenção. As falhas nas pás da turbina não apareceram aqui como um evento de caminho crítico, apesar de sua elevada importância para o sistema, porque são de rara ocorrência. As pás possuem um robusto sistema de controle e monitoração que dificultam a ocorrência de cavitação.

Os demais cortes mínimos têm probabilidade menor ou igual a $1,43E-05$ e não foram considerados caminhos críticos para conduzir ao corte de carga.

Além da determinação dos caminhos críticos, a análise FTA utilizando o software Relex permitiu ainda desenvolver uma simulação de Monte Carlo para determinar a variação da taxa de falhas e da confiabilidade do sistema ao longo do tempo. A simulação será discutida mais a frente, nas seções de análises estatísticas.

4.4 SELEÇÃO DE FUNÇÕES SIGNIFICANTES

Funções significantes são aquelas cujas falhas serão submetidas às etapas subseqüentes do processo decisório da MCC para a escolha da atividade de manutenção.

Para o desenvolvimento da metodologia, priorizaram-se os componentes de equipamentos críticos, isto é, equipamentos cuja taxa de falhas e prioridade de risco são considerados altos, conforme identificado pelas análises FMEA e FTA. Associada a estes equipamentos existe uma variedade de sensores e dispositivos de monitoração e controle, conforme apresentado no Anexo I. Os equipamentos com maiores taxas de falhas são equipamentos com maior número de componentes críticos e, como notado no Anexo I, possuem maior quantidade de instrumentação associada. Os componentes críticos, enfim, foram tomados como sendo os eventos pertencentes aos caminhos críticos da árvore de falhas gerada utilizando-se o Relex. A confiabilidade destes eventos será utilizada como critério para implementação do plano ótimo de manutenção dos equipamentos.

4.5 AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE E TENDÊNCIA DE FALHAS DOS COMPONENTES

4.5.1 MEMORIAL DE CÁLCULO

O estudo dos mecanismos de falhas objetiva classificar os tipos de comportamentos anômalos de materiais e equipamentos, e, através deles, identificar as atividades preventivas e corretivas adequadas a cada tipo. A classificação se dá através do conceito de taxa de falha, obtida da modelagem estocástica dos fenômenos envolvidos, antes e durante a ocorrência de falhas.

Para se calcular as taxas de falha dos componentes foram utilizados os registros de desligamentos da UGH-01 de Balbina, listados no sistema computacional INFO_OPR e o número de ocorrência de

falhas de cada componente, disponível nos cartões de anormalidade. Este sistema contém todos os intervalos de tempo de máquina parada, bem como os motivos de desligamento.

A seguir é apresentado um memorial de cálculo, contendo os principais parâmetros do modelo estocástico, bem como as principais fórmulas utilizadas para os cálculos probabilísticos. Vale ressaltar que foram assumidas algumas hipóteses com relação aos equipamentos sem cartões de anormalidade, isto é, equipamentos que não apresentaram falha alguma durante o período analisado (2002 a 2005).

Período analisado: jan. 2002 a dez. 2005

Equivalente em horas: 35064h

Horas de máquina parada: 74,50h

Horas de serviço BAUHG-01: 34989,5h

Taxa média de falhas:

$$\lambda = \frac{\text{n}^\circ \text{ de falhas do componente no período considerado}}{\text{tempo total que o componente ficou operando}} \quad (1)$$

Taxa média de falhas para componentes sem cartão de anormalidade:

$$\lambda = \frac{1}{70128} = 1,43 \times 10^{-5} \quad [\text{falhas/hora}]$$

(Adotou-se 1 falha em 8 anos)

MTTR (tempo médio de reparo, ou tempo médio até ser reparado):

$$MTTR = \frac{\text{tempo total que o componente ficou em reparo}}{\text{n}^\circ \text{ de reparos do componente no período considerado}} \quad (2)$$

MTTR para componentes sem cartão de anormalidade:

$$MTTR = 1 \quad [\text{hora}]$$

Tempo de reparo para cartões de anormalidades abertos e concluídos no mesmo dia: 6 horas

Ocorrências: Consultadas no arquivo de cartões de anormalidade SAP/R3

Deteção: Em equipamentos com instrumentação as falhas são identificadas por meio de alarmes gerados pelo sistema de monitoração. Em equipamentos sem instrumentação as falhas são identificadas geralmente por inspeções periódicas.

O Anexo V apresenta um relatório Relex Padrão contendo os dados de manutenibilidade (taxas médias de falha e MTBF) calculados para cada subsistema e para cada componente.

4.5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O próximo passo do processo decisório é o tratamento estatístico dos dados, a fim de se definir políticas de ação para manutenção.

Diversos têm sido os esforços no sentido de incorporar a avaliação da confiabilidade durante os estágios de operação de um produto em um sistema reparável. O modelo de distribuição de Poisson não-homogênea (NHPP) é ideal para tratar de sistemas com “reparos mínimos”, isto é, sistemas reparados com somente o que é necessário para voltá-lo às condições operacionais. Os sistemas com reparos mínimos podem ser relacionados ao estudo de caso do Sistema da Turbina, visto que neste sistema os componentes com sintomas de falha são reparados sob a estratégia mínima de reparo e postos novamente em serviço.

Foi utilizado o software RGA 6 desenvolvido em conjunto pela Reliasoft e pelo Dr. Larry H. Crow, criador do modelo Crow-AMSAA (*Army Material Systems Analysis Activity*) baseado no U.S.-MIL-HDBK-189, *Reliability Growth Management*. O modelo Crow-AMSAA estima o número de falhas dos equipamentos por hora de tempo de operação sobre os intervalos. Isto é chamado de taxa de

intensidade de falhas reparáveis e é estimado pela função de intensidade de Poisson não-homogênea (N.H.P.P.):

$$r(t) = \lambda \beta t^{\beta-1} \quad (3)$$

Onde t é a hora de operação acumulada e zero é o início da série de dados.

A função de intensidade de falha tem dois parâmetros λ e β . λ mede a escala ou magnitude da taxa de falhas e β mede a tendência na taxa de falhas acumulada sobre as horas de operação do produto. Com relação ao fator β , temos que:

Se $\beta = 1$ (taxa de falha constante), pode ser uma indicação que modos de falhas múltiplas estão presentes. Este é freqüentemente o caso dos sistemas os quais diferentes componentes têm diferentes idades e o tempo individual de operação dos componentes não está disponível. Uma taxa de falhas constante pode também indicar que as falhas são provocadas por agentes externos, tais como: uso inadequado do equipamento ou técnicas inadequadas de manutenção.

O modo de falhas por desgaste é caracterizado por $\beta > 1$, o que significa que a taxa de falhas dos equipamentos está aumentando com o tempo.

Mas, $\beta < 1$ a função da intensidade de falha está diminuindo. Isto pode ser causado pela eficácia das ações corretivas ou outras razões.

Na Seção (4.6.2) Foram traçados os gráficos de taxa de falha acumulada em função do tempo, mostrando a variação da probabilidade de falhas ao longo do tempo. A Tabela (4.10) mostra os valores de β , λ , MTBF e taxa de falha estimados pelo RGA 6, segundo o modelo Crow. Vale observar que os valores do MTBF e da taxa de falha é referente ao MTBF e taxa de falha instantâneos ao final do período observado, 34989,5h.

Como o equipamento turbina hidráulica e o sistema do distribuidor não puderam ter seus parâmetros estimados, em decorrência do baixo número de falhas que sofreram, foi adotado para os mesmos $\beta = 1$ (taxa de falhas constante) e λ igual à taxa média de falhas, conforme descrito no memorial de cálculo. E para o sistema de estabilização, que não obteve nenhuma falha registrada no SAP/R3, foi estimada uma taxa de falhas igual a 1 em 8 anos, conforme descrito no memorial de cálculo.

Tabela 4.10 – Parâmetros da distribuição NHPP, MTBF e taxa instantânea de falhas.

Equipamento	β	λ	MTBF (h)	Taxa de falha instantânea
Turbina Hidráulica	1,00	5,72E-5	17494,75	5,72E-5
Mancal de escora	1,63	9,49E-7	916,19	0,0011
Mancal guia	2,76	6,10E-8	577,79	0,0017
Sistema de vedação do eixo	1,95	1,20E-8	2042,76	0,0005
Sistema do distribuidor	1,00	5,72E-5	17494,75	5,72E-5
Sistema de estabilização	1,00	1,43E-5	70128	1,43E-5
Sistema da Turbina	1,67	1,05E-6	501,8	0,002

Nota-se que a taxa de falha dos equipamentos está aumentando. Apesar do mancal de escora apresentar o maior número de falhas (vinte e duas falhas), o mancal guia é o equipamento com menor MTBF e maior taxa instantânea de falhas, em função da ocorrência de três vazamentos na tubulação de água do sistema de resfriamento ao final de 2003 e início de 2004.

4.5.3 SIMULAÇÃO MONTE CARLO

A máquina de Monte Carlo é uma poderosa ferramenta para cálculos de confiabilidade em função do tempo. É usada para simular variações nas entradas e saídas do sistema modelado e analisar o seu efeito. Sua importância, para análise de confiabilidade de processos, decorre do fato de que torna possível a definição de um intervalo ótimo de inspeção periódica para cada equipamento, a partir da definição de um limite inferior para a confiabilidade do processo.

Foi desenvolvida uma simulação de Monte Carlo para o sistema da turbina utilizando o software Relx a partir da modelagem da árvore de falhas (FT).

As falhas dos componentes da FT foram modeladas no sistema de mínimos reparos, e os tempos de reparo foram especificados conforme o tempo de indisponibilidade de cada componente registrado nos arquivos do SAP/R3. Utilizou-se a distribuição Poisson não-homogênea para modelagem da função de densidade de falhas dos equipamentos com os parâmetros estimados pelo software RGA 6, conforme a Tabela (4.10). A simulação de monte Carlo é mostrada no Anexo VI. Os períodos ótimos de inspeção foram definidos sempre que a confiabilidade dos equipamentos atinge 90%. A Tabela (4.11) mostra os períodos ótimos de inspeção de cada equipamento.

Tabela 4.11 – Período ótimo de inspeção.

Equipamento	Período ótimo de inspeção (h)
Turbina Hidráulica	8000 (\approx 1 ano)
Mancal de escora	1300 (\approx 2 meses)
Mancal guia	1500 (2 meses)
Sistema de vedação do eixo	1800 (2 meses e meio)
Sistema do distribuidor	4200 (\approx 6 meses)
Sistema de estabilização	3600 (5 meses)

A seção a seguir compara estes tempos de inspeção encontrados com o atual plano de manutenção.

4.6 PROPOSTA DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO EFICIENTE

A proposta da MCC permite definir as tarefas de manutenção aplicáveis a cada componente do sistema e suas respectivas periodicidades.

Como foi notado pelas distribuições de densidade de falhas, nota-se que as falhas dos componentes do sistema da turbina tendem a aumentar, pois os componentes tendem a se desgastar cada vez mais. Portanto, sugere-se que sejam realizadas inspeções periódicas menores do que as recomendadas no atual plano de manutenção.

No referido plano, o menor intervalo para inspeções é anual. Sugere-se que tais inspeções, focalizando principalmente os componentes críticos, tanto nos mancais quanto no sistema de vedação, junto à tampa superior para averiguar estanqueidade, sejam bimensais. E que as inspeções mais detalhadas, que exigem esvaziamento do tubo de sucção e do conduto forçado sejam anuais, ao invés de em cada cinco anos, como está no plano de manutenção. Deste modo, a máxima indisponibilidade esperada será de apenas 1,4%, conforme observado na simulação de Monte Carlo.

5 CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia MCC mostrou que, para os 89 componentes do sistema da turbina foram identificadas 41 funções principais, as quais apresentaram 46 falhas funcionais, que indicaram 78 diferentes modos de falha. A partir destes modos de falha foram propostas 7 tarefas corretivas – lubrificar rolamentos, calibrar instrumentos de medição, drenar tubulações, purificar o óleo, limpar a malha do filtro, o radiador dos trocadores de calor, e os instrumentos de medição – além de 18 tarefas preventivas, que incluem verificação das condições de operação, buscas por falhas e análises do óleo.

Deve-se destacar que para a aplicação da metodologia proposta confirmou serem bastante necessários dedicação e esforço, visto que o número de componentes e acessórios associados a cada equipamento é muito grande. Contudo, fica confirmada a viabilidade de aplicação da MCC em uma sistemática consolidada, mesmo se limitando a definição do plano de manutenção.

O presente trabalho revelou os seguintes componentes críticos do sistema da turbina: as pás da turbina, o óleo lubrificante das cubas dos mancais, a tubulação do sistema de resfriamento do mancal guia, os trocadores de calor e as válvulas de alívio do mancal de escora, as palhetas diretrizes do distribuidor e as tubulações e válvulas do sistema de vedação do eixo. As falhas destes equipamentos podem ser drasticamente reduzidas através de um sistema robusto de monitoração e controle de parâmetros como temperatura, vazão e pressão de água e óleo, densidade do óleo, e vibração do eixo da turbina. Estabelecendo-se faixas aceitáveis de operação. Além de um eficiente sistema de manutenção baseada na preservação das funções dos componentes.

A análise estatística permitiu definir os padrões de confiabilidade e disponibilidade do sistema da turbina, e a partir de então selecionar atividades de modo a otimizar os procedimentos de manutenção.

Pode ser observada a potencialidade do método MCC no sentido de otimizar o plano de manutenção, definindo as tarefas a serem contempladas nesse plano, sejam preventivas ou corretivas, a revisão da frequência das inspeções e a oportunidade de realização de discussões técnicas com profundidade suficiente para uma reavaliação dos procedimentos de manutenção atualmente adotados e resgate do conhecimento dos profissionais envolvidos no processo de manutenção.

Enfim, o presente trabalho conseguiu expor a aplicabilidade da metodologia MCC para o sistema da turbina. Fica como sugestão de trabalhos futuros a utilização dos resultados produzidos pela MCC para desenvolvimento e implementação do sistema de Manutenção Preditiva Baseada em Condição da usina hidrelétrica de Balbina, SIMPREBAL.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, “NBR 6023: Informação e Documentação -Referências - Elaboração”, ABNT, Rio de Janeiro, 2000.

CIARAPICA, F. E.; GIACCHETTA, G., “Managing the condition-based maintenance of a combined-cycle power plant: An approach using soft computing techniques”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19 (2006) 316-325, [on line] disponível na internet < <http://www.sciencedirect.com> >

DUNN, S., “Maintenance Terminology – Some Key Terms”, [on line] Disponível na internet < <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary> >, Acesso em: 10/06/2006.

ELETRONORTE – CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A, “Relatório Mensal de Operação”, maio de 2002.

ELETRONORTE – CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL, [on line] Disponível na internet < <http://www.eln.gov.br> >, Acesso em: 08/05/2006.

EMMANOUILIDIS, C.; JANTUNEN, E.; MACINTYRE, J., “Flexible software for condition monitoring, incorporating novelty detection and diagnostics”, Computers in Industry xxx (2006) xxx-xxx, [on line] disponível na internet < [http:// www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) >

ETI, M. C.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D., “Development and implementation of preventive-maintenance practices in Nigerian industries”, Applied Energy xxx (2006) xxx-xxx, [on line] disponível na internet < <http://www.sciencedirect.com> >

IEC 60300-3-11, “Gestion de la sureté de fonctionnement – partie 3-11: Guide d’application – Maintenance basée sur la fiabilité”, Commission Electrotechnique Internationale, Geneva, Switzerland, 1999.

FILHO, G. B., “Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade”, 2ª edição, Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2000.

FLEMING, P. V.; FRANÇA, S. R.R. O., “Considerações Sobre a Implementação Conjunta de TPM e MCC na Indústria de Processos”, ABRAMAN – 12º Congresso Brasileiro de Manutenção: TT044, São Paulo, 1997.

FONSECA, L. A. N., “Manutenção Baseada em Confiabilidade – A experiência Aeronáutica a Serviço da Indústria em Geral”, ABRAMAN – 10º Congresso Brasileiro de Manutenção: p.27-44, Rio de Janeiro, 1995.

FUJI, S.; KWAK, R. Y.; PARK, B. Y.; SOHN, J. Y.; TAKAKUSAGI, A., “Development of an optimal preventive maintenance model based on the reliability assessment for air-conditioning facilities in office buildings”, Building and environment 39 (2004) 1141-1156, [on line] disponível na internet < <http://www.sciencedirect.com> >

MIL-P-24534, “Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation”, Naval Sea Systems Command, U.S.

MOUBRAY, J., “RCM II – Reliability Centered Maintenance”, 2ª edição, New York: Industrial Press Inc, 1997.

SIQUEIRA, I. P., “Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação”, Qualitymark, Rio de Janeiro, 2005.

TAVARES, L. A.; FILHO, A. A. S., “A Manutenção Como Uma Atividade Corporativa”, [on line] Disponível na internet < <http://www.abraman.org.br/publicações> >, Acesso em: 30/06/2006.

WYREBSKI, J., “Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado”, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1998.

ANEXO I

**LISTAGEM DOS EQUIPAMENTOS, SUBSISTEMAS, COMPONENTES,
TAG'S, VARIÁVEIS DE PROCESSO, NÍVEIS DE ALARME E DE TRIP
DO SISTEMA DA TURBINA**

EQUIPAMENTO	VARIÁVEIS DE PROCESSO	TAG	ALARME	TRIP
Turbina hidráulica				
COMPONENTE				
Cabeçote Kaplan				
Eixo				
Sensor óptico de vibração 01	Distância entre o sensor, no mancal guia da turbina, e o eixo rotativo (0°)	G1SIMMEMK	275µm	320µm
Sensor óptico de vibração 02	Distância entre o sensor, no mancal guia da turbina, e o eixo rotativo (90°)	G1SIMMEMK	275µm	320µm
Pás				
Roda Kaplan				
Tampa				
EQUIPAMENTO				
Mancal de escora				
SUBSISTEMA				
Cuba				
COMPONENTE				
Bloco de escora				
Óleo Lubrificante				
Pista de guia				
Segmento do mancal				
Filtro de ar				
Filtro de separação óleo/ar				
Exaustor				
Tubulações e conexões				
Termostato 01 (metal)	Temperatura dos patins	G138ME1	HI 85°C	HIHI 90°C
Termostato 02 (metal)		G138ME2	HI 85°C	HIHI 90°C
Termostato 03 (metal)		G138ME3	HI 85°C	HIHI 90°C
Termômetro				
Termostato (óleo)	Temperatura do óleo na cuba	G138MI	HI 75°C	
Termômetro				
Chave de nível	Nível do óleo na cuba	G171MC	HI 280mmH ₂ O LO 30mmH ₂ O	LOLO 15mmH ₂ O
SUBSISTEMA				
Sistema de circulação de óleo				
COMPONENTE				
Motobomba AI (Principal)				
Motobomba AJ (Reserva)				
Fluxostato	Vazão de óleo no mancal	G180LP	LO 25L/min	LOLO 19L/min
Pressostato 01	Pressão de saída de óleo na motobomba AI	G163LX	LO 2bar	LOLO 1,2bar
Pressostato 02	Pressão de saída de óleo na motobomba AJ	G163LY	LO 2bar	LOLO 1,2bar
Manômetro 01				
Manômetro 02				
Painel Elétrico				
Tubulações e conexões				
Válvula de isolamento 01				
Válvula de isolamento 02				
Válvula de alívio de pressão 01				
Válvula de alívio de pressão 02				

SUBSISTEMA				
Sistema de injeção de óleo				
COMPONENTE				
Filtro Duplex				
Motobomba AG				
Motobomba AH				
Pressostato 01	Pressão de saída de óleo na motobomba AG	G163LV	LO 5bar	LOLO 3,5bar
Pressostato 02	Pressão de saída de óleo na motobomba AH	G163LW	LO 5bar	LOLO 3,5bar
Manômetro 01				
Manômetro 02				
Pressostato diferencial	Diferença de pressão de óleo na entrada e saída do filtro	G163CS	HI 0,5bar	
Manômetro diferencial				
Manômetro				
Painel elétrico				
Tubulações e conexões				
Válvula de isolamento 01				
Válvula de isolamento 02				
Válvula de alívio de pressão 01				
Válvula de alívio de pressão 02				
SUBSISTEMA				
Sistema de resfriamento				
COMPONENTE				
Filtro Duplex				
Pressostato diferencial	Diferença de pressão de óleo na entrada e saída do filtro	G163MB	HI 0,5bar	
Manômetro diferencial				
Pressostato				
Manômetro				
Sensor de temperatura (óleo)	Temperatura do óleo na entrada do trocador de calor	G126OTMCE	HI 55°C	
Medidor de Densidade	Densidade do óleo	DT302-1	HI 0,87g/cm ²	
Termômetro (água)				
Fluxostato	Vazão de água no trocador de calor	G180MM	LO 20L/min	LOLO 19L/min
Sensor de temperatura (água)	Temperatura da água na saída do trocador de calor	G126ATMCS	HI 35°C	
Trocador de calor 01				
Trocador de calor 02				
Tubulações e conexões				
EQUIPAMENTO				
Mancal guia da turbina				
SUBSISTEMA				
Cuba				
COMPONENTE				
Segmento do mancal				
Óleo Lubrificante				
Termopar 01	Temperatura do casquilho bi-partido	G138MK2	HI 75°C	HIHI 85°C
Termopar 02		G138MK3	HI 75°C	HIHI 85°C
Termopar 03		G138MK1	HI 75°C	HIHI 85°C
Termostato 01	Temperatura do óleo na cuba	G138MJ1	HI 70°C	
Termostato 02		G138MJ2	HI 70°C	
Pressostato	Pressão de óleo na cuba	G163MS	LO 0,25bar	LOLO 0,06bar

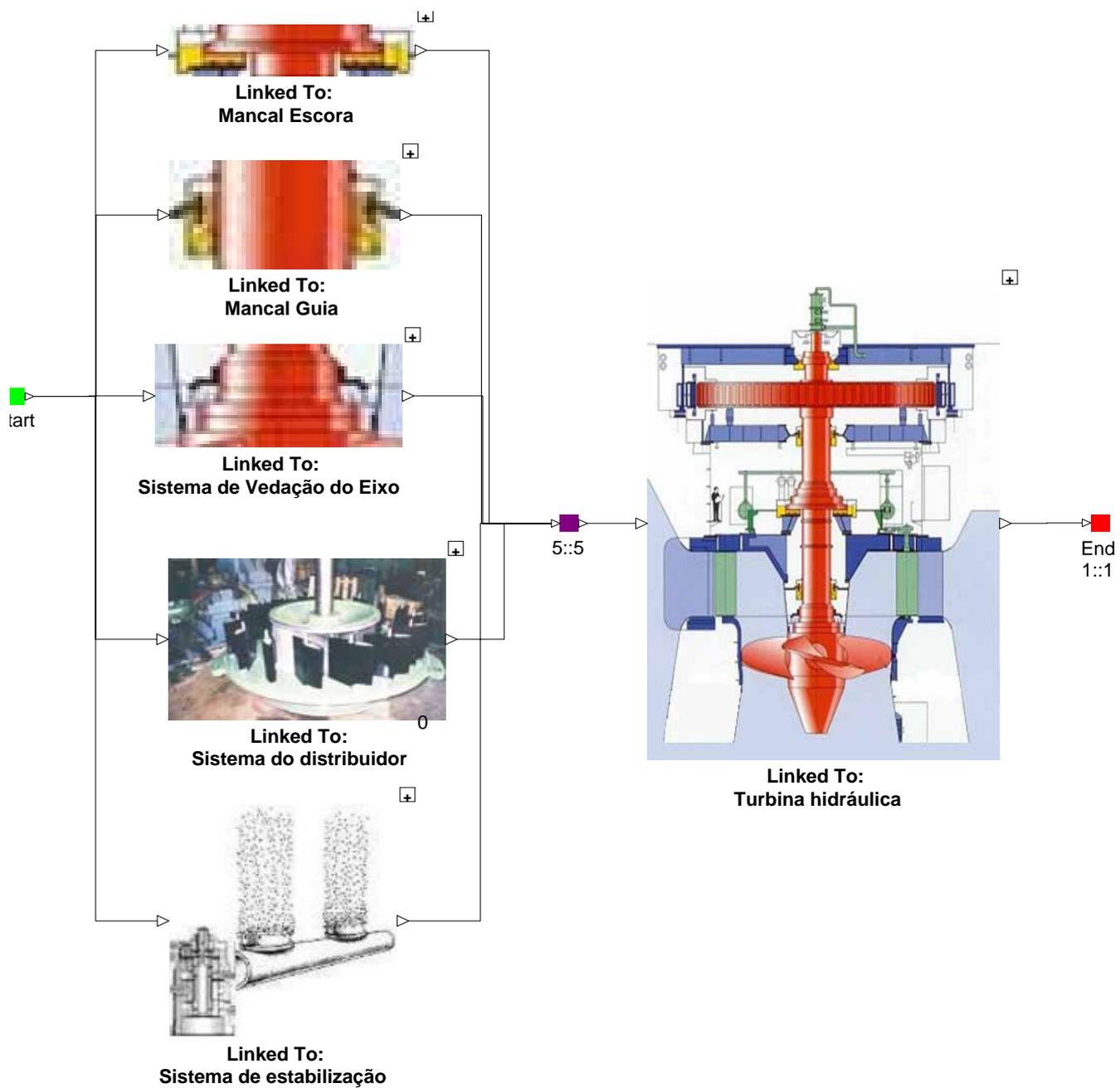
SUBSISTEMA				
Sistema de resfriamento				
COMPONENTE				
Serpentina				
Tubulações e conexões				
EQUIPAMENTO				
Sistema de vedação do eixo da turbina				
SUBSISTEMA				
Sistema de vedação				
COMPONENTE				
Cuba da junta				
Junta de manutenção				
Junta de vedação				
Junta deslizante				
Sensor de temperatura (porta-gaxeta)				
Pressostato 01	Pressão de água na junta de manutenção	G163CW	HI 2bar	
Pressostato 02	Pressão de água na junta de vedação	G163MQ	LO 2,5bar	LOLO 1bar
Termostato	Temperatura da água no sistema de vedação	G126AVE	HI 35°C	
Manômetro				
SUBSISTEMA				
Sistema de resfriamento				
COMPONENTE				
Motobomba AN				
Motobomba AR				
Filtro				
Presostato	Pressão de saída de água nas motobombas AN e AR	B63ANR	LO 2,5bar	LOLO 2bar
Pressostato diferencial 01	Diferença de pressão de água na entrada e saída do filtro	F63MR	HI 0,4bar	HIHI 2bar
Pressostato diferencial 02	Diferença de pressão de água na entrada e saída do sistema de resfriamento	G163AVE	LO 2bar	
Válvula esfera 01				
Válvula esfera 02				
Válvula esfera 03				
Válvula esfera 04				
Diafragma				
Manômetro diferencial				
Placa de orifício				
Fluxostato	Vazão de água	G180MP	LO 90L/min	
Tanque de selagem 01				
Tanque de selagem 02				
Chave de nível 01	Nível de água no tanque de selagem 01	TQS71MO1	LO 3000mmH ₂ O	LOLO 2500mmH ₂ O
Chave de nível 02	Nível de água no tanque de selagem 02	TQS71MO2	LO 3000mmH ₂ O	LOLO 2500mmH ₂ O

SUBSISTEMA				
Sistema de drenagem				
COMPONENTE				
Motobomba AK				
Hidrojeto de emergência AL				
Pressostato	Pressão de saída nas motobombas AK e AL	G163BAKL	LO 2bar	LOLO 1,5bar
Chave de nível (4 posições)	Nível de água no poço de drenagem da turbina	G171SDT	HI 250mmH ₂ O	HIHI 300mmH ₂ O
Painel elétrico				
Tubulações e conexões				
Válvulas				
Poço				
EQUIPAMENTO				
Sistema do distribuidor				
SUBSISTEMA				
Servomotor				
COMPONENTE				
Cilindro				
Guarnições				
Haste				
Válvulas				
SUBSISTEMA				
Palheta diretriz				
COMPONENTE				
Bucha				
Palheta				
Vedações				
SUBSISTEMA				
Mecanismo de acionamento				
COMPONENTE				
Anel de sincronismo				
Biela				
Fim de curso				
Manivela				
Pino de cisalhamento				
Travas				
EQUIPAMENTO				
Sistema de estabilização				
COMPONENTE				
Válvula de aeração				

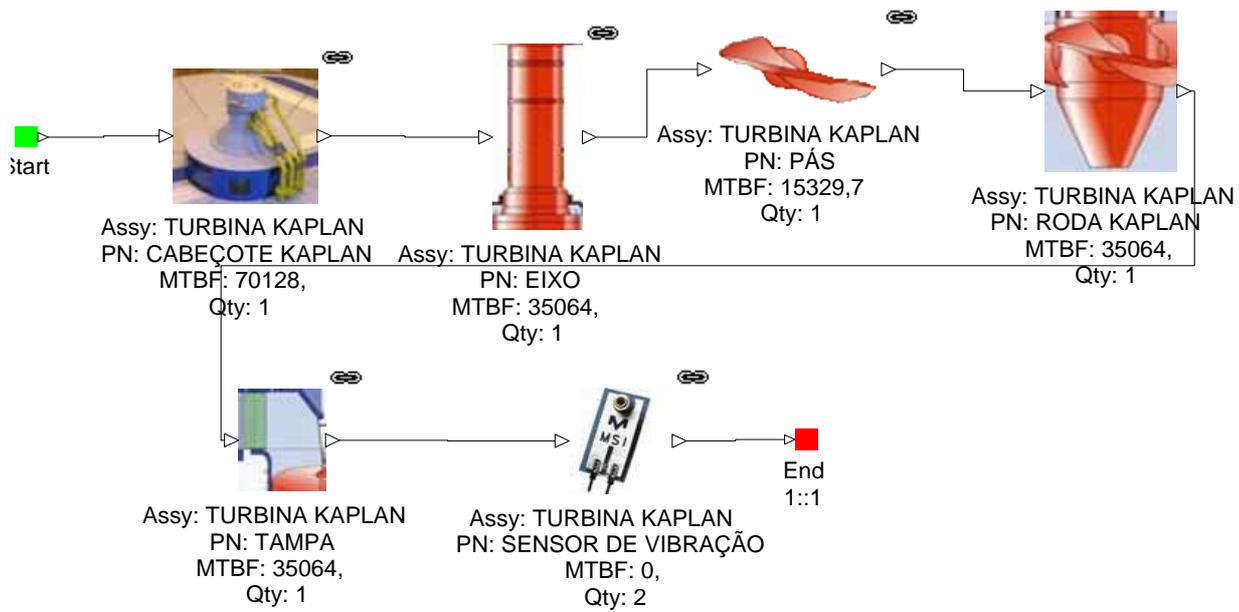
ANEXO II

DIAGRAMA DE BLOCOS RELEX

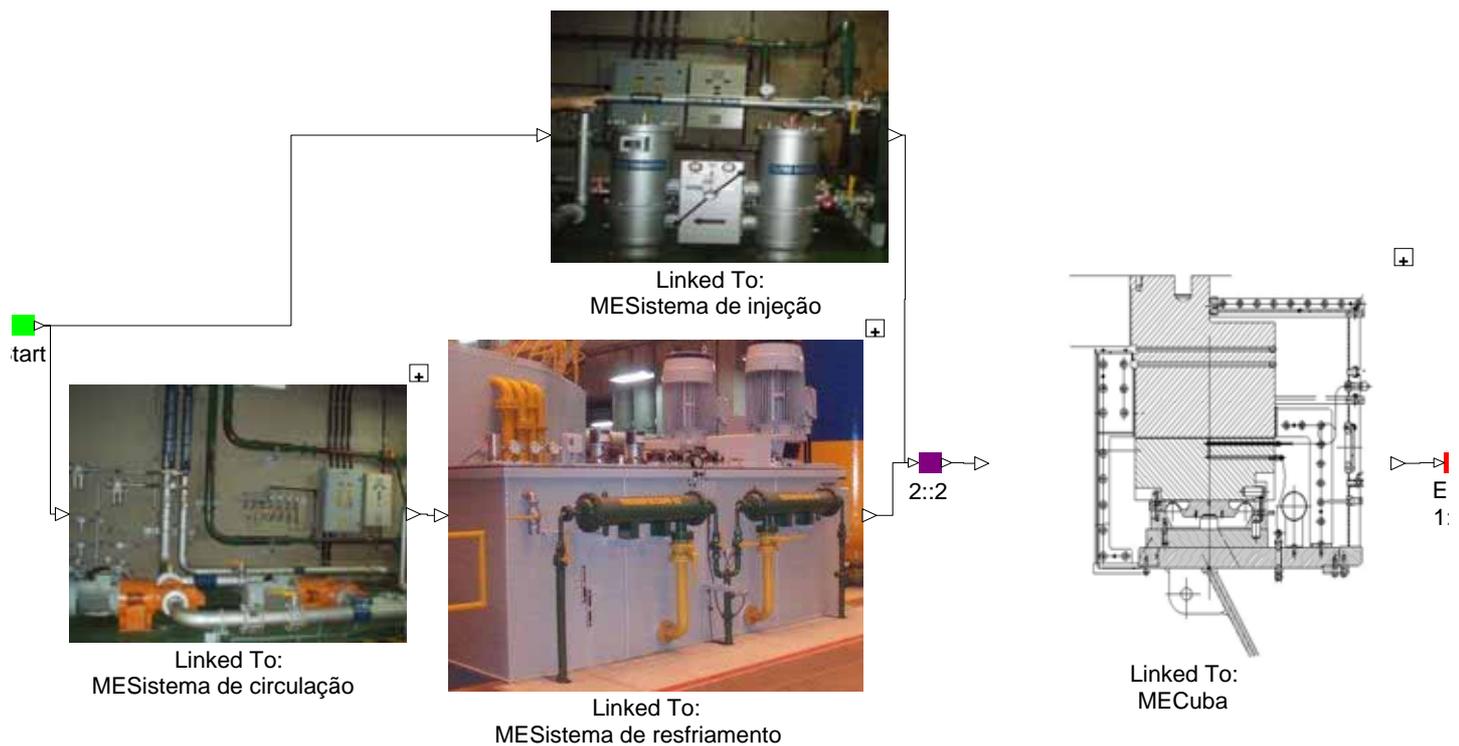
Diagrama de Blocos – Sistema da Turbina



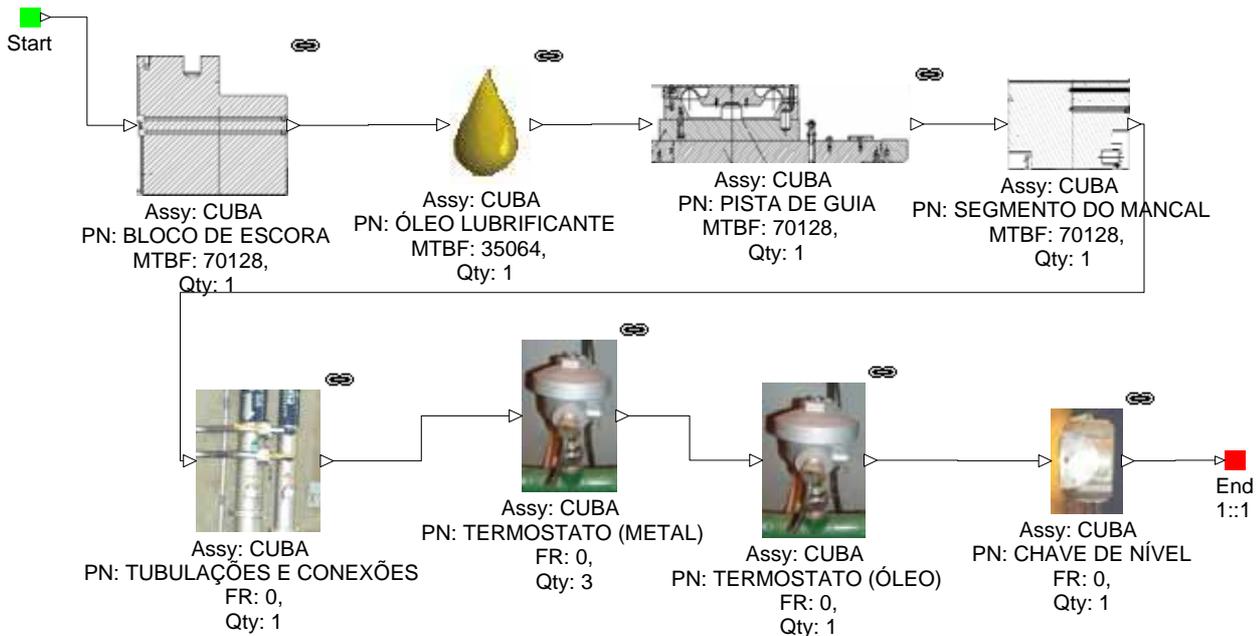
Turbina hidráulica



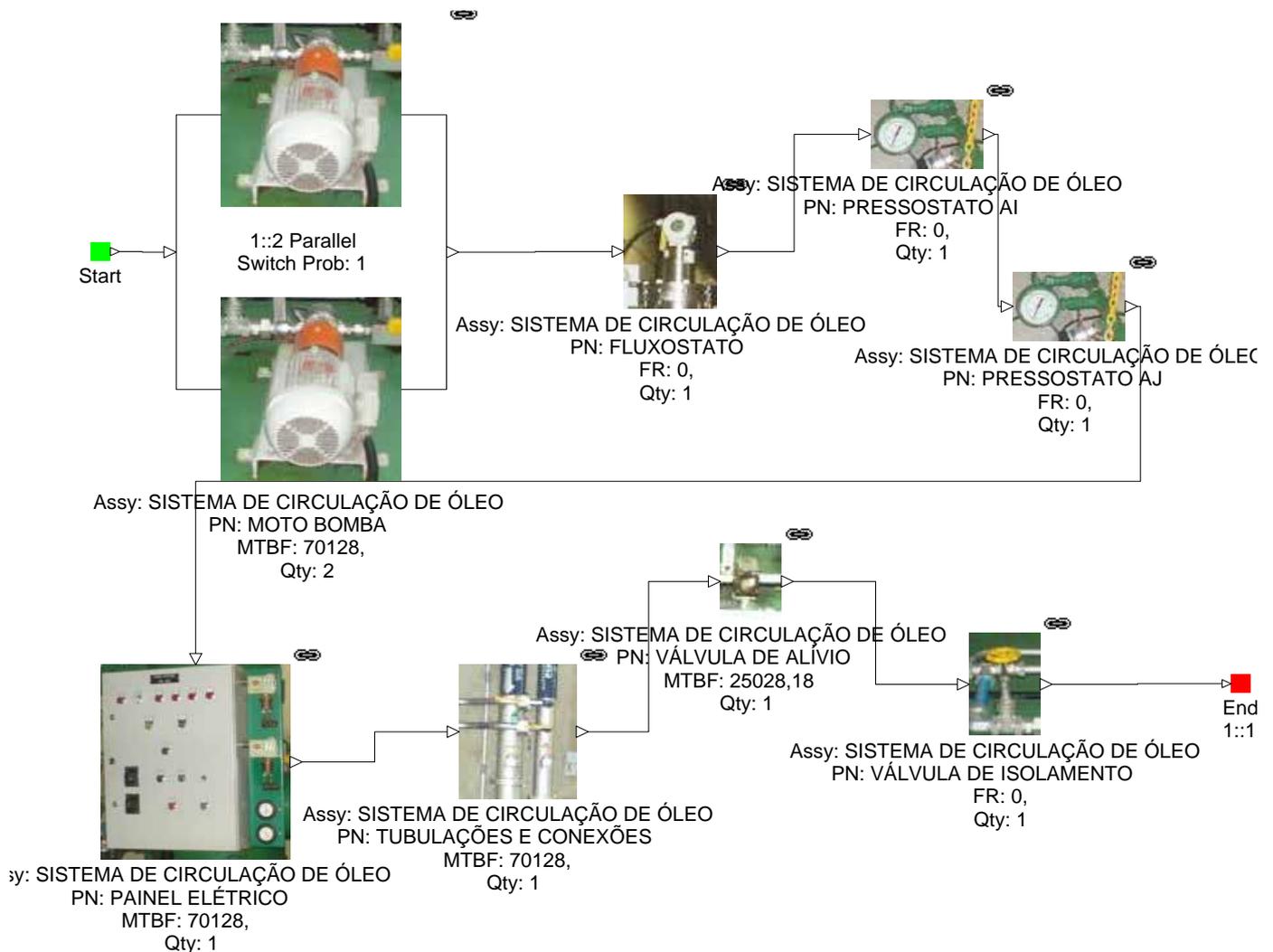
Mancal de escora



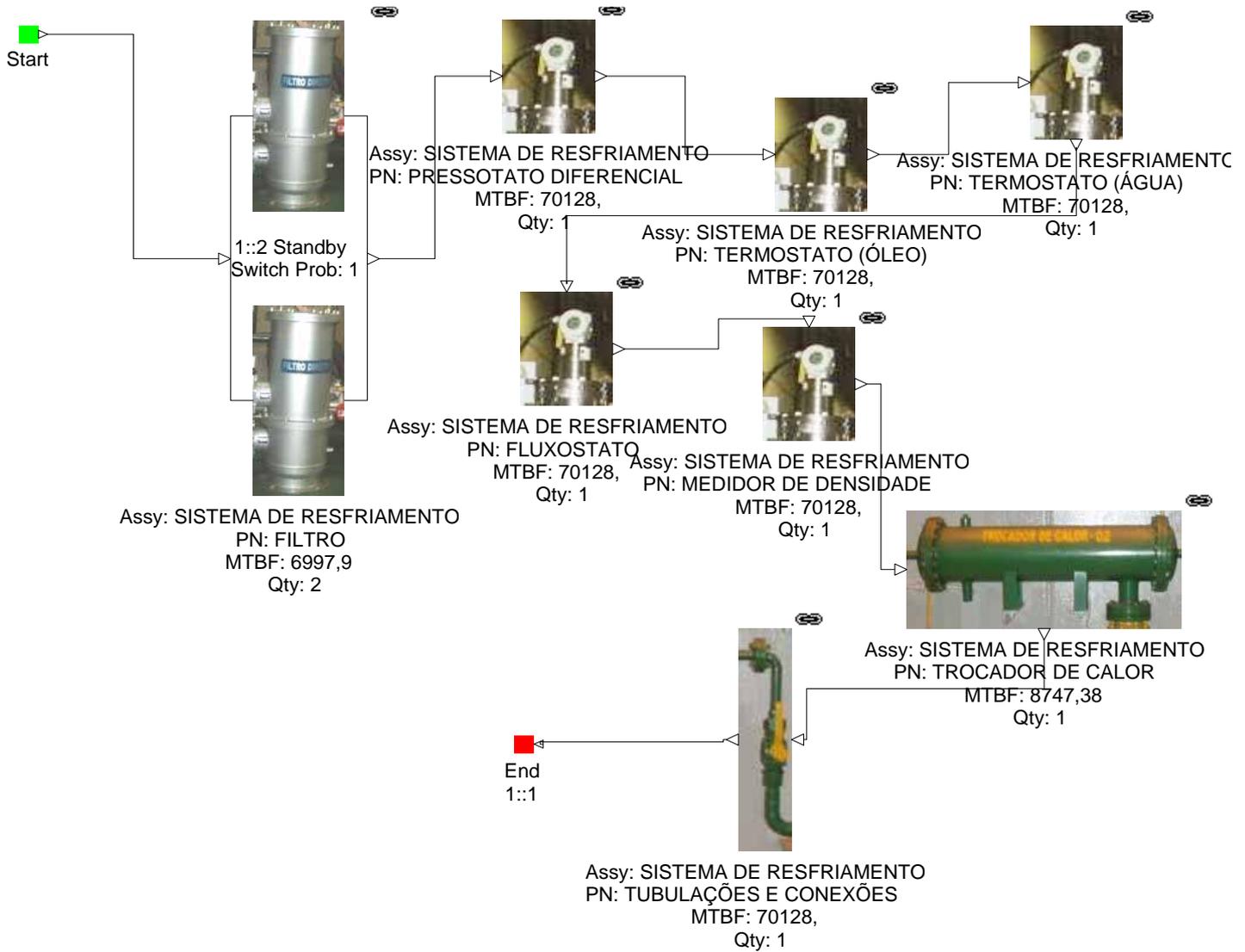
Mancal de escora – Cuba



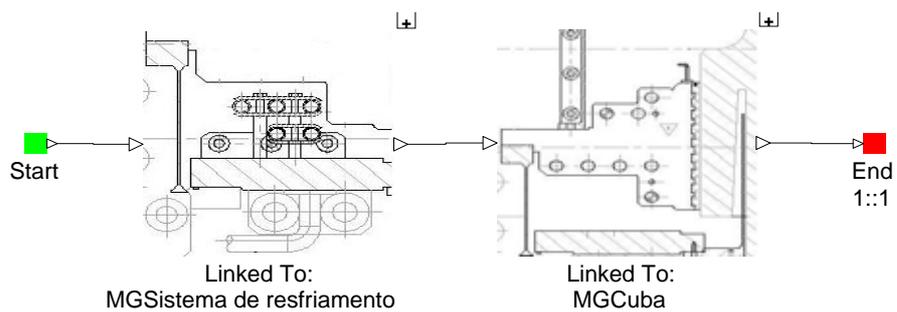
Mancal de escora – Sistema de circulação de óleo



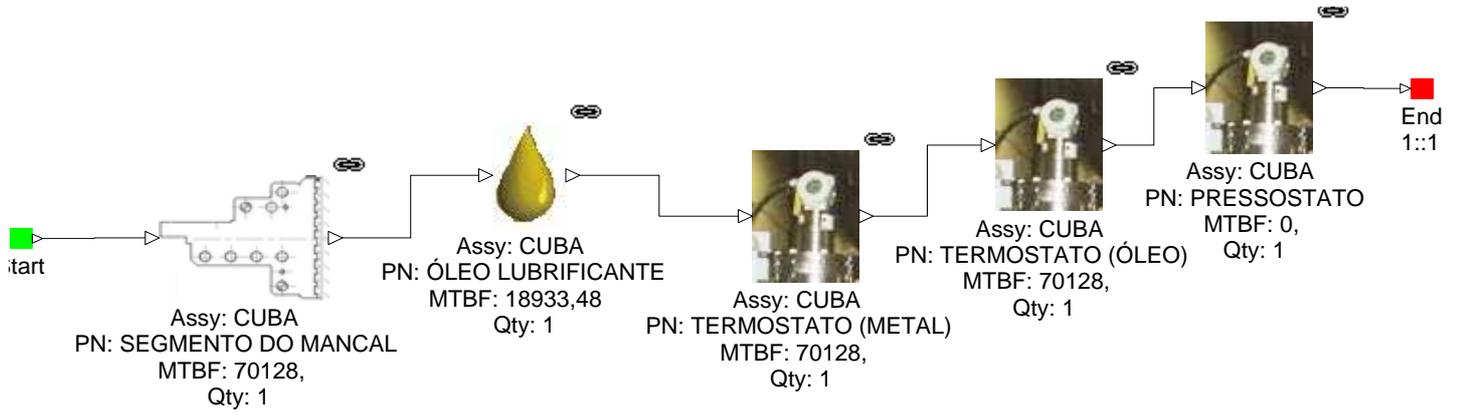
Mancal de escora – Sistema de resfriamento de óleo



Mancal guia



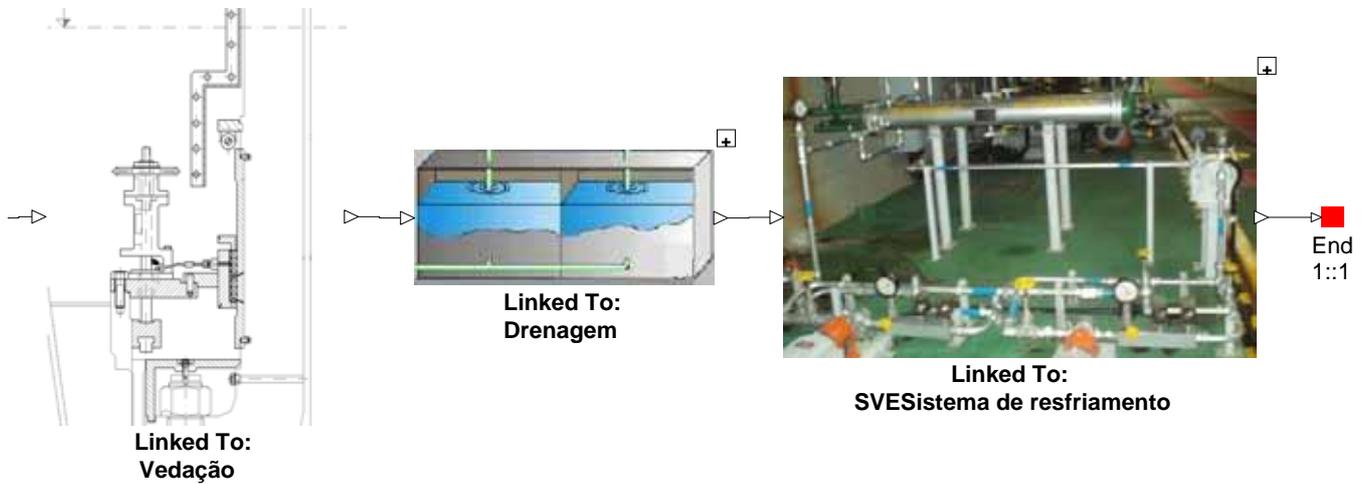
Mancal guia - Cuba



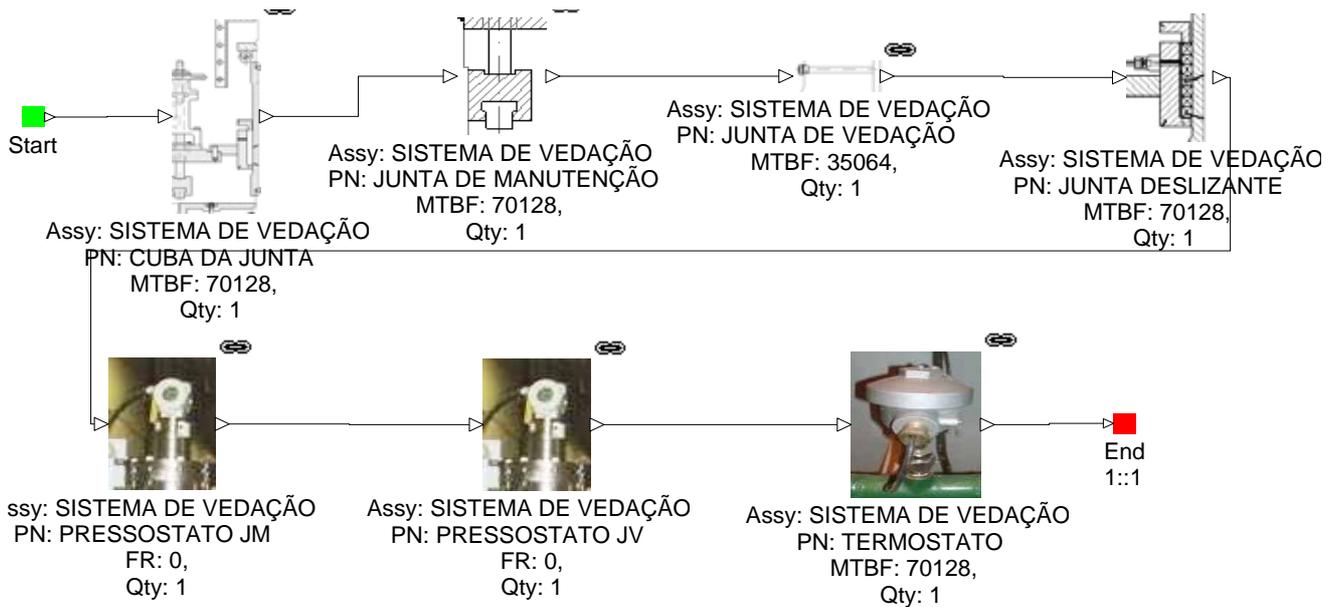
Mancal guia – Sistema de resfriamento



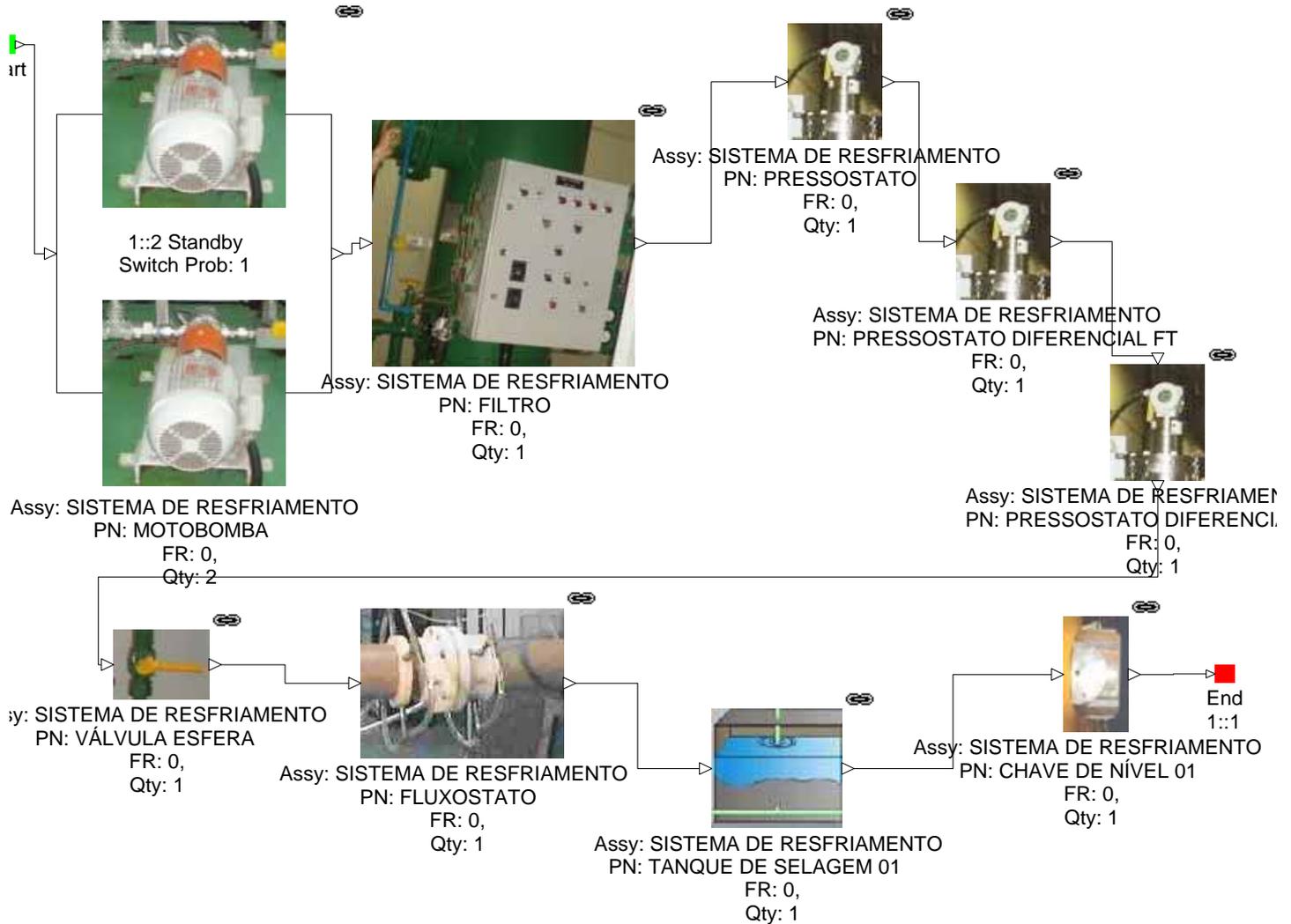
Sistema de vedação do eixo



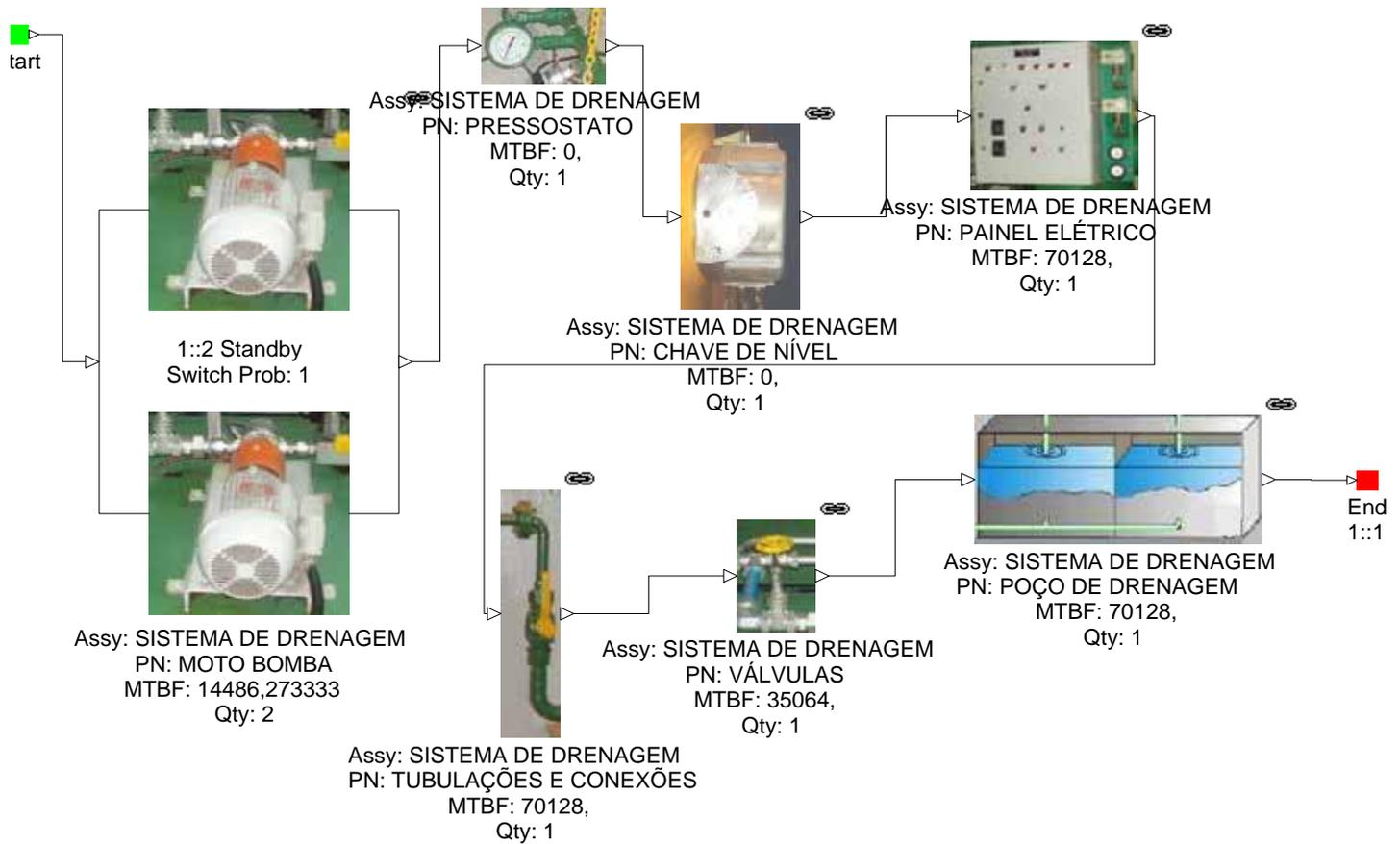
Sistema de vedação do eixo – Vedação



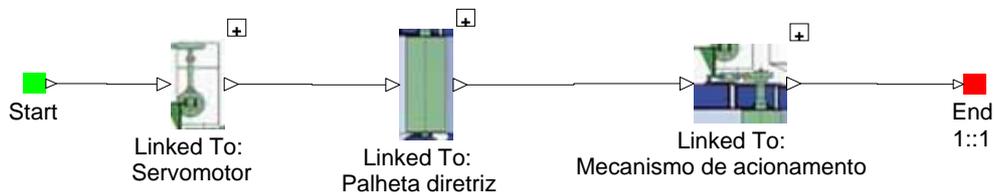
Sistema de vedação do eixo – Resfriamento



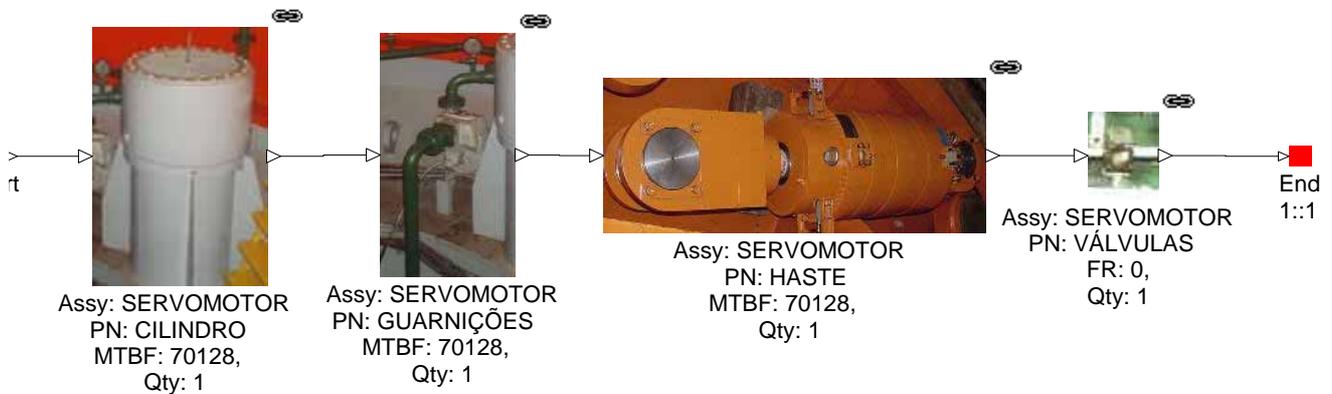
Sistema de vedação do eixo – Drenagem



Sistema do distribuidor



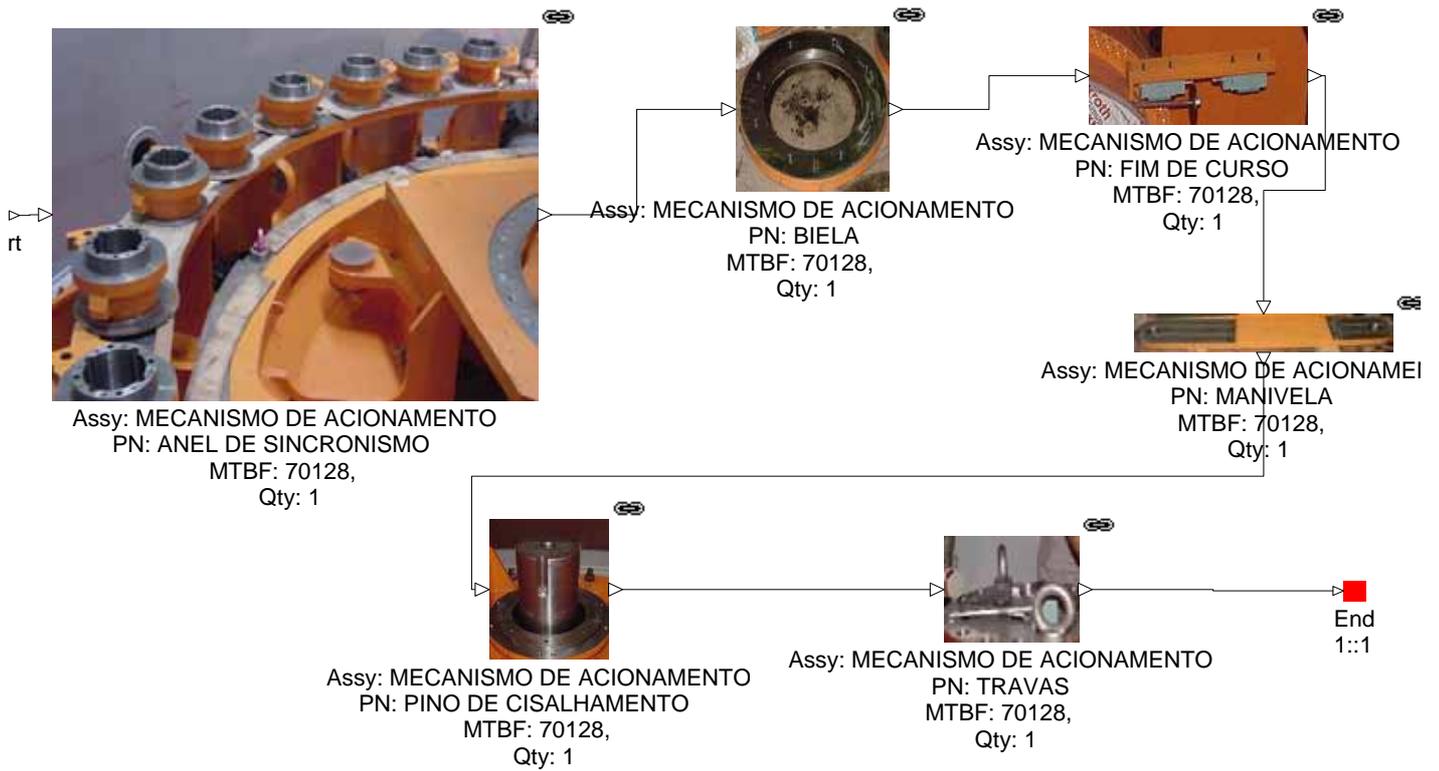
Sistema do distribuidor - Servomotor



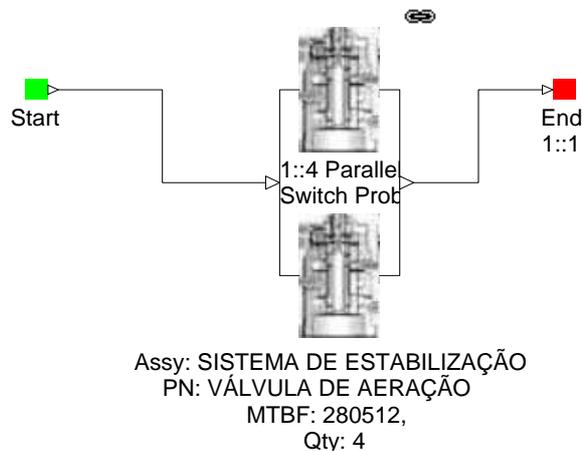
Sistema do distribuidor - Palheta diretriz



Sistema do distribuidor – Mecanismo de acionamento



Sistema de estabilização



ANEXO III

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS FMEA

FMEA DA TURBINA HIDRÁULICA DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
FUNÇÃO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
Converter a energia mecânica contida na queda d'água em trabalho de eixo.												
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Cabeçote	Conduzir óleo às pás da roda kaplan e às palhetas do distribuidor.	Vazamento	Rachaduras na tubulação	Comprometimento da abertura e fechamento das pás e palhetas	4	1	1	4	1	3	12	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção geral do conjunto (vazamentos e pintura) - Inspeção visual da pintura interna - Inspeção visual na tubulação
	Realizar isolamento acústico		Desgaste dos pistões									
Eixo	Transferir a rotação da roda ao rotor do gerador	Vibração Excessiva	Desalinhamento	<ul style="list-style-type: none"> - Atrito excessivo com os mancais - Má qualidade da energia gerada - parada da máquina 	7	10	5	10	1	2	20	<ul style="list-style-type: none"> - Análise periódica dos deslocamentos do eixo, assegurando-se de que estejam dentro de tolerâncias aceitáveis - Verificar estado geral quanto a corrosão - Verificar estanqueidade da tubulação - Inspeccionar escova de aterramento
			Cavitação das pás									
			Desalinhamento das pás									
			Parafusos frouxos									
			Funcionamento da unidade com carga acima da especificada (sobrecarga)									
			Corrosão (oxidação)									
			Desgaste de adesão									

Sensor de vibração	Monitorar a vibração do eixo da turbina	Indicar valor incorreto de vibração	Descalibração do instrumento	Leitura de vibração incorreta	2	5	3	5	1	7	35	- Calibrar periodicamente os sensores - Verificar estado geral de conservação
				Risco de ajuste incorreto de outro instrumentos								
				Risco de diagnóstico incorreto de desgaste do eixo								
				Risco de parada da máquina								
		Não indicar medição de vibração	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Perda de indicação	1	5	1	5	1	1		
Pás	Promover a movimentação com velocidade constante da roda	Vibração excessiva	Cavitação	- Atrito excessivo com os mancais - Má qualidade da energia gerada - parada da máquina	7	10	5	10	2	3	60	- Verificar o estado geral quanto a corrosão - Verificar ocorrência de trincas e cavitação
			Desalinhamento									
			Defeito de montagem									
			Formação de vácuo devido ao mal funcionamento do sistema de aerção									
Roda	Girar com velocidade constante e converter efetivamente energia hídrica em potência de eixo	Aquecimento	Má lubrificação Corrosão	- Aumenta o desgaste - Risco de quebra do mecanismo interno - Risco de parada da máquina	4	5	5	5	2	4	40	- Verificar o estado geral quanto a corrosão - Efetuar medida de folga da roda com partes fixas, realizando ajustes quando necessário
		Desgaste										
		Engripamento										
		Fadiga										
		Vibração										
		Vazamento										
Tampa	Garantir estanqueidade aos comportimentos superiores e inferiores à caixa espiral da turbina	Vazamento	Má vedação das gaxetas	- Risco de funcionamento com baixa carga - Risco de contaminação do óleo dos mancais	2	3	1	3	1	5	15	- Verificar o estado geral quanto a corrosão
			Desgaste por corrosão									

FMEA DO MANCAL DE ESCORA DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
CUBA					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
FUNÇÃO	Imergir em óleo as partes ativas do mancal de escora, permitindo a formação contínua do filme de óleo durante o funcionamento da unidade geradora.											
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Bloco de escora	Assegurar a ligação entre a unidade geradora e o mancal propriamente dito Permitir a formação e manutenção do filme de óleo (efeito hidrodinâmico) em sua superfície inferior	Formação deficiente do filme de óleo	Desgaste do bloco de escora por goivagem da superfície inferior Atrito excessivo devido ao baixo nível de óleo na cuba	- Aquecimento anormal e acentuado - Rachaduras e fraturas no bloco de escora - Parada da máquina	4	10	5	10	1	2	20	- Verificar o estado geral quanto a corrosão - Verificar afrouxamento nos parafusos - Inspeccionar existência de vazamentos
Óleo lubrificante	Reduzir o atrito entre o bloco de escora e os segmentos Permitir equilíbrio de pressão no interior das membranas	Formação deficiente do filme de óleo Lubrificação deficiente dos componentes da cuba	- Alta granulidade do óleo, devido a má filtragem - Óleo muito viscoso ou de má qualidade - Alta temperatura, devido ao baixo nível de óleo ou mau funcionamento do sistema de resfriamento - Contaminação com água, devido a vazamentos na tubulação	- Goivagem e engripamento dos patins e do bloco de escora - Atrito excessivo e aquecimento anormal - Parada da máquina	4	10	5	10	2	3	60	- Análise físico-química periódica da carga de óleo de lubrificação dos mancais para acompanhamento da evolução da concentração, natureza e tamanho das partículas em suspensão
Pista de guia	Possui membranas e rótulas cuja função principal é alinhar as superfícies de contato colar de escora/ patins permitindo a equi-repartição do empuxo total atuante no mancal Garantir a equi-repartição de cargas	Desbalanceamento	Montagem incorreta	- Má distribuição das Cargas sobre o mancal - Aquecimento acentuado - Má formação do filme de óleo - Desgaste acentuado dos patins e bloco de escora	4	7	5	7	2	2	28	- Verificar o estado geral quanto a corrosão - Verificar afrouxamento nos parafusos

Segmento (patim)	Permitir a formação e manutenção do filme de óleo em sua superfície superior	Formação deficiente do filme de óleo	Desgaste do segmento por goivagem da superfície superior	- Aquecimento anormal e acentuado - Rachaduras e fraturas no segmento - Parada da máquina	4	10	5	10	2	2	40	- Verificar o estado geral quanto a corrosão - Ajustar a folga dos patins
			Atrito excessivo devido ao baixo nível de óleo na cuba									
Termostato (Metal)	Indicar na sala de controle e supervisão o valor da temperatura dos patins	Indicar valor incorreto de temperatura	Ajuste incorreto	- Leitura de temperatura incorreta - Informações erradas sobre o estado do mancal	1	5	5	5	1	3	15	- Calibração - Inspeção Visual
		Não indicar medição de temperatura	Quebra do contato ou quebra do instrumento	Perda de indicação	1	5	3	5	1	1		
Termostato (Óleo)	Indicar na sala de controle e supervisão o valor da temperatura do óleo na cuba do mancal	Indicar valor incorreto de temperatura	Ajuste incorreto	- Leitura de temperatura incorreta - Informações erradas sobre o estado do sistema de resfriamento de óleo e sobre a formação do filme de óleo	3	5	5	5	1	3	15	- Calibração - Inspeção Visual
		Não indicar medição de temperatura	Quebra do contato ou quebra do instrumento	Perda de indicação	3	5	3	5	1	1		
Chave de nível	Indicar na sala de controle e supervisão o valor do nível de óleo na cuba	Indicar valor incorreto de nível	Ajuste incorreto	- Leitura de nível incorreto - Atuação ou parada indevida do sistema de injeção de óleo - Risco de diagnóstico incorreto de vazamento na cuba - Risco de parada indevida da máquina	3	5	5	5	2	3	30	- Verificar ajuste - Verificar estado de funcionalidade
		Não indicar medição de nível	Quebra do contato ou quebra do instrumento	- Perda de indicação	3	5	3	5	1	1		

FMEA DO MANCAL DE ESCORA DA UGH-01 DE BALBINA - SISTEMAS AUXILIARES					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
SISTEMA DE CIRCULAÇÃO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
FUNÇÃO	Dissipar o calor gerado no mancal de escora e lubrificar seus componentes											
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Fluxostato	Indicar fluxo de óleo no sistema de circulação	Vazamento	Folgas na conexão	Risco de acidente pessoal	3	1	1	3	2	2	36	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar ajuste - Verificar estado de funcionabilidade - Verificar existência de vazamentos
		Indicar valor incorreto de vazão de óleo	Ajuste incorreto	- Leitura incorreta de vazão	3	2	1	3	3	4		
			Falta de calibração do instrumento	- Risco de ajuste incorreto de outros instrumentos								
Não indicar fluxo de óleo	Mau contato na fiação	Perda de indicação	3	2	1	3	1	5				
Motobomba Principal (AI)	Bombear óleo	Não obedece comando para partir	Quebra por desgaste excessivo	Indicação de falha da bomba principal	1	3	1	3	1	2	10	<ul style="list-style-type: none"> - Ensaios funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificar os rolamentos
			Contato danificado	Partida da bomba auxiliar								
		Não obedece comando para parar	Engripamento do mecanismo interno	Operação desnecessária da bomba principal	4	1	1	4	1	2		
		Ruído anormal	Falta de óleo nos rolamentos	Risco de quebra da bomba	2	1	1	2	1	3		
Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico	Vazamento de óleo										
		Risco iminente de indisponibilidade da bomba principal por pressão insuficiente	4	3	5	5	1	2				
Motobomba Auxiliar (AJ)	Bombear óleo	Não obedece comando para partir	Quebra por desgaste excessivo ou engripamento do mecanismo interno	Indicação de falha da bomba auxiliar	1	10	5	10	1	2	20	<ul style="list-style-type: none"> - Ensaios funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificar os rolamentos
			Parada emergencial da máquina									
		Não obedece comando para parar	Operação desnecessária da bomba auxiliar	4	3	1	4	1	1			
		Ruído anormal	Falta de óleo nos rolamento	Risco de quebra da bomba	6	2	1	6	1	3		
Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico	Parada emergencial da máquina	4	10	5	10	1	2				

Pressostato de partida e parada das motobombas	Indicar pressões baixas ou muito baixas, gerar alarmes, desligar e partir motobombas	Não partir as motobombas	Quebra do instrumento	Falta de reposição de óleo ao sistema	1	7	5	7	1	2	35	- Verificar ajuste - Verificar estado de funcionalidade
				Risco de parada da máquina por baixa pressão								
		Partir indevidamente as motobombas	Ajuste incorreto do contato	Indicação incorreta de pressão baixa	5	7	3	7	1	5		
				Distúrbio no funcionamento normal do sistema								
			Operação indevida	Risco de acidente pessoal								
		Não parar as motobombas	Quebra do instrumento	Sobrepresão	4	3	3	4	1	1		
				Vazamento de óleo								
		Parar indevidamente as motobombas	Ajuste incorreto do contato	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	5	1	1	5	1	5		
Operação indevida	Risco de acidente pessoal											
Manômetro das motobombas	Indicar localmente a pressão de saída das motobombas	Indicar valor incorreto de pressão	Descalibração do instrumento	Leitura de pressão incorreta	3	1	1	3	1	5	15	- Calibrar - Inspeção Visual
				Risco de ajuste incorreto de outro instrumentos								
		Não indicar medição de pressão	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Perda de indicação	3	1	1	3	1	1		
Painel Elétrico	Indicar alarmes, trips e condições de operação do sistema	Não indicar alarmes	Queima dos LED's	Perda de indicação	7	1	1	7	1	1	7	- Verificar posição, nível e alinhamento - Verificar fixação e estado geral dos componentes internos no painel - Verificar etiquetas de identificação dos cabos e terminais - Verificar lâmpadas de sinalização - Verificar aterramento geral
			Mau contato na fiação									
Tubulações e conexões	Conduzir óleo	Não conduzir o óleo corretamente	Vazamento por ruptura da tubulação	Risco de acidente pessoal	5	3	3	5	1	5	25	- Inspeção visual dos estado geral das tubulações - Drenar e purificar o óleo
				Impossibilidade de reposição de óleo								
			Obstrução por deformação permanente	Risco de parada da máquina								
			Obstrução por contaminação do fluido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema								

Válvulas de isolamento	Isolar acessórios de supervisão e controle	Não isolar os acessórios de supervisão e controle	Falta de aperto no fechamento da válvula	Impossibilidade de executar manutenção nos acessórios de supervisão e controle	4	1	1	4	1	5	25	-Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
		Isolar inadequamente os acessórios de supervisão e controle	Engripamento da haste provocando vazamento interno	Risco de acidente pessoal	5	1	1	5	1	5		
Válvulas de alívio de pressão	Limitar a pressão em caso de obstrução do circuito	Não aliviar a pressão	Emperramento	Rompimento da tubulação e vedações	5	5	3	5	1	1	60	-Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
			Obstrução por quebra de mecanismo interno	Quebra da motobomba								
		Operar abaixo da pressão máxima	Ajuste indevido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	1	3	1	5	3	4		
			Desgaste na sede da válvula									

FMEA DO MANCAL DE ESCORA DA UGH-01 DE BALBINA - SISTEMAS AUXILIARES					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE						TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO	
SISTEMA DE RESFRIAMENTO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO		AVALIAÇÃO GERAL (NPR)
FUNÇÃO	Dissipar o calor gerado no mancal de escora											
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Filtro Duplex	Retirar impurezas do óleo	Deterioração	Rompimento da malha do filtro	Comprometimento da lubrificação do sistema	4	3	1	4	1	3	40	- Limpeza do filtro - Inspeção Visual
			Ruptura dos o-rings	Irregularidades no filme de óleo								
		Entupimento	Excesso de impurezas	Risco de sobrepressão, quebra da bomba e avarias na tubulação	4	3	1	4	10	1		
Pressostato diferencial	Indicar com sinalização sonora e luminosa o entupimento do filtro	Não indicar alarme	Quebra do instrumento	Risco de sobrepressão, quebra da bomba de circulação de óleo e avarias na tubulação	5	1	7	7	1	4	28	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional
			Acionar indevidamente	Ajuste incorreto do contato								
		Operação indevida										

Manômetro diferencial	Indicar o valor nominal da perda de carga (entupimento)	Indicar valor incorreto de pressão	Descalibração do instrumento	Leitura de pressão incorreta	3	3	1	3	1	5	15	- Calibração - Inspeção Visual
				Risco de ajuste incorreto de outros instrumentos								
		Não indicar medição de pressão	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Perda de indicação	3	1	1	3	1	1		
Medidor de densidade	Medir a densidade do óleo no mancal de escora, detectando possíveis contaminações	Indicar valor incorreto de densidade	Ajuste incorreto	Leitura de densidade incorreta	3	1	1	3	1	5	15	- Calibração - Inspeção Visual
			Falta de calibração	Risco de tomada de decisão incorreta quanto a contaminação do óleo	3	1	1	3	1	5		
		Não indicar medição de temperatura	Quebra do instrumento	Perda de indicação	1	1	1	1	1	1		
Trocador de calor	Resfriar o óleo	Contaminação da carga de óleo	Vazamento por corrosão das tubulações	- Má formação do filme de óleo - Atrito e desgaste excessivo do mancal - Temperatura alta - Parada da máquina	5	3	3	5	2	3	56	- Verificar estado geral de conservação - Verificar estanqueidade - Ensaio funcionais
			Falha na vedação									
		Resfriamento insuficiente do óleo	Impurezas no radiador		4	3	3	4	7	2		
Trocador de calor reserva	Resfriar o óleo	Contaminação da carga de óleo	Vazamento por corrosão das tubulações	- Má formação do filme de óleo - Atrito e desgaste excessivo do mancal - Temperatura alta - Parada da máquina	5	3	3	5	1	3	15	- Verificar estado geral de conservação - Verificar estanqueidade - Ensaio funcionais
			Falha na vedação									
		Resfriamento insuficiente do óleo	Impurezas no radiador	4	3	3	4	1	2			
Tubulações e conexões	Conduzir água e óleo	Não conduzir os fluidos corretamente	Vazamento por ruptura da tubulação	Risco de acidente pessoal	5	5	3	5	1	5	25	- Inspeção visual dos estado geral das tubulações - Drenar e purificar o óleo
				Impossibilidade de reposição de óleo								
			Obstrução por deformação permanente	Risco de parada da máquina								
		Obstrução por contaminação do fluido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema									
Sensores de temperatura de óleo	Indicar na sala de controle e supervisão o valor da temperatura do óleo na entrada e saída dos trocadores	Indicar valor incorreto de temperatura	Ajuste incorreto	Leitura de temperatura incorreta	5	3	3	5	1	5	25	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional
		Não indicar medição de temperatura	Quebra do contato ou quebra do instrumento	Perda de indicação	4	3	3	4	1	2		
Sensores de temperatura de água	Indicar na sala de controle e supervisão o	Indicar valor incorreto de temperatura	Ajuste incorreto	Leitura de temperatura incorreta	5	3	3	5	1	5	25	- Verificar ajuste - Inspeção Visual

	valor da temperatura da água na entrada e saída dos trocadores	Não indicar medição de temperatura	Quebra do contato ou quebra do instrumento	Perda de indicação	4	3	3	4	1	2		- Teste operacional
Termômetro	Indicar localmente a temperatura de água na saída dos trocadores de calor	Indicar valor incorreto de temperatura	Descalibração do instrumento	Leitura de pressão incorreta	3	1	1	3	1	5	15	- Calibração - Inspeção Visual
		Não indicar medição de temperatura	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Perda de indicação								
Fluxostato de água	Indicar o fluxo de água	Vazamento	Folgas na conexão	- Leitura incorreta de vazão - Risco de ajuste incorreto de outros instrumentos - Pode influenciar o aumento de pressão de água indevido no sistema de resfriamento	5	3	3	5	1	5		
		Indicar valor incorreto de vazão de água	Ajuste incorreto		Falta de calibração do instrumento	5	3	3	5	1	5	
			Não indicar fluxo de água	Mau contato na fiação		Perda de indicação	4	3	3	4	1	2

FMEA DO MANCAL DE ESCORA DA UGH-01 DE BALBINA - SISTEMAS AUXILIARES					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE						TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO	
SISTEMA DE INJEÇÃO DE ÓLEO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO		AVALIAÇÃO GERAL (NPR)
FUNÇÃO	Garantir a formação do filme de óleo durante a partida e parada da unidade geradora evitando o contato metal-metal											
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Filtro Duplex	Retirar impurezas do óleo	Deterioração	Rompimento da malha do filtro	Comprometimento da lubrificação do sistema durante a partida e parada da máquina	3	3	1	3	1	3	21	- Limpeza do filtro - Inspeção Visual
			Ruptura dos o-rings	Irregularidades no filme de óleo								
		Entupimento	Excesso de impurezas	Risco de sobrepressão, quebra da bomba e avarias na tubulação	3	3	1	3	7	1		
Motobomba Principal (corrente alternada)	Bombear óleo	Não obedece comando para partir	Quebra por desgaste excessivo	Indicação de falha da bomba principal e Partida da bomba auxiliar	7	3	3	7	1	2	25	- Ensaios funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificação dos
			Contato danificado									

		Não obedece comando para parar	Engripamento do mecanismo interno	Risco de sobrepressão e avarias na tubulação	6	5	3	6	1	2		rolamentos
		Ruído anormal	Falta de óleo nos rolamentos	Risco de quebra da bomba	5	3	3	5	1	1		
		Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico	Vazamento de óleo	5	3	3	5	1	5		
				Risco iminente de indisponibilidade da bomba principal por pressão insuficiente								
			Presença de ar no fluido									
Motobomba Auxiliar (corrente contínua)	Bombear óleo	Não obedece comando para partir	Quebra por desgaste excessivo	Parada emergencial da máquina e contato mecânico entre o bloco de escora e o segmento do mancal	7	7	5	7	1	2	50	<ul style="list-style-type: none"> - Ensaio funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificação dos rolamentos
			Contato danificado									
		Não obedece comando para parar	Engripamento do mecanismo interno	Risco de sobrepressão, avarias na tubulação e vazamento	7	7	5	7	1	2		
		Ruído anormal	Falta de óleo nos rolamentos	Risco de quebra da bomba	5	1	3	5	1	1		
		Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico	Vazamento de óleo	6	10	5	10	1	5		
				Risco iminente de indisponibilidade do sistema por pressão insuficiente								
		Presença de ar no fluido										
Pressostato de partida e parada das motobombas	Indicar pressões baixas ou muito baixas, gerar alarmes, desligar e partir motobombas	Não partir as motobombas	Quebra do instrumento	Falta de reposição de óleo ao sistema durante a partida ou parada da máquina	1	7	5	7	1	2	35	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar ajuste - Verificar estado de funcionalidade - Teste Operacional
				Risco de parada da máquina por baixa pressão								
		Partir indevidamente as motobombas	Ajuste incorreto do contato	Sobrepressão e aumento da espessura do filme de óleo. Risco de avarias, vazamento na tubulação e quebra da bomba	5	7	3	7	1	5		
				Distúrbio no funcionamento normal do sistema								
				Operação indevida								
		Não parar as motobombas	Quebra do instrumento	Sobrepressão	4	3	3	4	1	1		
Vazamento de óleo												

		Parar indevidamente as motobombas	Ajuste incorreto do contato	Distúrbio no procedimento normal de partida e parada do sistema. Risco de avarias no mancal	5	1	1	5	1	5		
			Operação indevida	Risco de acidente pessoal								
Manômetro das motobombas	Indicar localmente a pressão de saída das motobombas	Indicar valor incorreto de pressão	Descalibração do instrumento	Leitura de pressão incorreta	3	1	1	3	1	5	15	- Calibração - Inspeção Visual
				Risco de ajuste incorreto de outro instrumentos								
		Não indicar medição de pressão	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Perda de indicação	3	1	1	3	1	1		
Pressostato diferencial	Indicar com sinalização sonora e luminosa o entupimento do filtro	Não indicar alarme	Quebra do instrumento	Risco de sobrepessão, quebra da bomba de circulação de óleo e avarias na tubulação	5	1	7	7	1	4	28	- Verificar ajuste - Verificar estado de funcionalidade - Teste operacional
		Acionar indevidamente	Ajuste incorreto do contato	Limpeza ou troca desnecessária do filtro	3	1	1	3	1	1		
Manômetro diferencial	Indicar o valor nominal da perda de carga (entupimento)	Indicar valor incorreto de pressão	Descalibração do instrumento	Leitura de pressão incorreta	3	3	1	3	1	5	15	- Calibração - Inspeção Visual
				Risco de ajuste incorreto de outro instrumentos								
		Não indicar medição de pressão	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Perda de indicação	3	1	1	3	1	1		
Painel Elétrico	Indicar alarmes, trips e condições de operação do sistema	Não indicar alarmes	Queima dos LED's	Perda de indicação	7	1	1	7	1	1	7	- Verificar posição, nível e alinhamento - Verificar fixação e estado geral dos componentes internos no painel - Verificar etiquetas de identificação dos cabos e terminais - Verificar lâmpadas de sinalização - Verificar aterramento geral
			Mau contato na fiação									
Tubulações e conexões	Conduzir óleo	Não conduzir o óleo corretamente	Vazamento por ruptura da tubulação	Risco de acidente pessoal	5	3	3	5	1	5	25	- Inspeção visual dos estado de estanqueidade das tubulações - Drenar e purificar o óleo
			Obstrução por deformação permanente	Risco de parada da máquina								
			Obstrução por contaminação do fluido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema								

Válvulas de isolamento	Isolar acessórios de supervisão e controle	Não isolar os acessórios de supervisão e controle	Falta de aperto no fechamento da válvula	Impossibilidade de executar manutenção nos acessórios de supervisão e controle	4	1	1	4	1	5	25	- Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
		Isolar inadequamente os acessórios de supervisão e controle	Engripamento da haste provocando vazamento interno	Risco de acidente pessoal	5	1	1	5	1	5		
Válvulas de alívio de pressão	Limitar a pressão em caso de obstrução do circuito	Não aliviar a pressão	Emperramento	Rompimento da tubulação e vedações	5	5	3	5	1	1	20	- Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
			Sobrepresão no sistema									
			Obstrução por quebra de mecanismo interno	Quebra da motobomba								
		Operar abaixo da pressão máxima	Ajuste indevido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	1	3	1	5	1	4		
Desgaste na sede da válvula												

FMEA DO MANCAL GUIA DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE						TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO	
CUBA					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO		AVALIAÇÃO GERAL (NPR)
FUNÇÃO	Imergir em óleo as partes ativas do mancal guia, permitindo a formação contínua do filme de óleo durante o funcionamento da unidade geradora											
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Segmento (casquilho bi-partido)	Transferir os esforços radiais do eixo da turbina ao concreto.	Formação deficiente do filme de óleo	Corrosão do metal patente	- Aquecimento anormal e acentuado - Rachaduras, fraturas e cavitação no metal patente - Parada da máquina	4	10	5	10	2	2	40	- Verificar o estado geral quanto a corrosão - Verificar afrouxamento nos parafusos - Inspeccionar existência de vazamentos
	Permitir a formação e manutenção do filme de óleo (efeito hidrodinâmico) entre o metal patente e o eixo.		Atrito excessivo devido ao baixo nível de óleo na cuba									
Óleo lubrificante	Reduzir o atrito entre o eixo da turbina e o metal patente	- Formação deficiente do filme de óleo - Lubrificação deficiente dos componentes da cuba	- Alta granulosidade do óleo, devido a má filtragem - Óleo muito viscoso ou de má qualidade	- Fraturas e brinelamento no metal patente - Atrito excessivo e aquecimento anormal - Parada da máquina	4	10	5	10	2	3	60	- Análise periódica do óleo de lubrificação dos mancais para acompanhamento da evolução da

	Permitir equilíbrio de pressão no interior das membranas		- Alta temperatura, devido ao baixo nível de óleo ou mau funcionamento do sistema de resfriamento - Contaminação com água, devido a vazamentos na tubulação										concentração, natureza e tamanho das partículas em suspensão
Termostato (Metal)	Indicar na sala de controle e supervisão o valor da temperatura do casquilho bi-partido	Indicar valor incorreto de temperatura	Ajuste incorreto	- Leitura de temperatura incorreta - Informações erradas sobre o estado do mancal	1	5	5	5	1	3	15	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional	
		Não indicar medição de temperatura	Quebra do contato ou quebra do instrumento	Perda de indicação	1	5	3	5	1	1			
Termostato (Óleo)	Indicar na sala de controle e supervisão o valor da temperatura do óleo na cuba da mancal	Indicar valor incorreto de temperatura	Ajuste incorreto	- Leitura de temperatura incorreta - Informações erradas sobre o estado do sistema de resfriamento de óleo e sobre a formação do filme de óleo	3	5	5	5	1	3	15	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional	
		Não indicar medição de temperatura	Quebra do contato ou quebra do instrumento	Perda de indicação	3	5	3	5	1	1			
Pressostato	Indicar pressões baixas ou muito baixas na cuba, gerar alarmes	Não indicar alarme	Quebra do instrumento	Risco de atrito excessivo entre o eixo e o metal patente, causando avarias no metal patente	5	1	7	7	1	4	28	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional	
		Acionar indevidamente	Ajuste incorreto do contato	Risco de parada desnecessária da máquina	3	1	1	3	1	1			
			Operação indevida										

FMEA DO MANCAL GUIA DA UGH-01 DE BALBINA - SISTEMAS AUXILIARES					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
SISTEMA DE RESFRIAMENTO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
FUNÇÃO	Dissipar o calor gerado no mancal de escora											
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Serpentina	Retirar impurezas do óleo	Contaminação da carga de óleo	Vazamento por corrosão das tubulações	- Má formação do filme de óleo - Atrito e desgaste excessivo do mancal - Temperatura alta - Parada da máquina	5	3	5	5	1	3	15	- Verificar estado geral de conservação - Verificar estanqueidade - Ensaio funcionais
			Falha na vedação									
		Resfriamento insuficiente do óleo	Problemas na injeção de água fria		5	3	3	5	1	3		
			Impurezas na serpentina									
Tubulações e conexões	Conduzir água à serpentina	Não conduzir corretamente	Vazamento por ruptura da tubulação	- Resfriamento de óleo deficiente - Alta temperatura - Distúrbio no funcionamento normal do sistema - Risco de parada da máquina	4	3	3	4	5	3	60	- Inspeção visual dos estado geral das tubulações - Drenar e purificar o óleo
			Obstrução por deformação permanente									
			Obstrução por contaminação do fluido									

FMEA DO SISTEMA DE VEDAÇÃO DO EIXO DA TURBINA DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
SISTEMA DE VEDAÇÃO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
FUNÇÃO	Impedir que a água canalizada pelo distribuidor e pela caixa semi-espiral invada o eixo da turbina, através de injeção de água sob pressão em direção oposta à tendência de entrada da água de serviço.											
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Cuba da junta	Armazenamento de água limpa para lubrificação	Vazamento	Falha na injeção de água de refrigeração	- Mau funcionamento do sistema de vedação - Risco de contaminação do óleo dos mancais	4	1	1	4	1	5	20	- Verificar o estado geral quanto a corrosão - Inspeccionar existência de vazamentos - Verificar condições de desgaste das gaxetas, dos anéis e do porta-gaxeta
			Desgaste excessivo das gaxetas									
			Corrosão da cuba									

Junta de manutenção	Promover vedação do eixo durante paradas de longa duração ou durante a manutenção da vedação principal	Não estancar completamente o eixo	Desalinhamento dos volantes de acionamento	- Não permite a correta manutenção da junta principal - Risco de contaminação do óleo dos mancais durante paradas prolongadas	3	1	3	3	1	7	21	-Verificar condições de estanqueidade - Teste operacional
Junta de vedação	Atuar sobre o eixo apertando-o de forma a estancar a entrada de água	Não estancar completamente o eixo	Má qualidade da junta	- Má funcionamento do sistema de vedação - Risco de contaminação do óleo dos mancais	4	5	3	5	2	3	30	-Verificar condições de estanqueidade
			Falta de ajuste									
Junta hidráulica	Vedar a água de serviço e ser capaz de suportar alta pressão	Formação incorreta do filme de água estanque entre a junta e a pista deslizante	Má lubrificação devido a baixa pressão de água	- Desgaste do porta gaxetaS e da pista De Desgaste - Aumento excessivo na temperatura - Risco de parada da máquina	4	5	3	5	1	3	15	-Verificar condições de estanqueidade
			Falha na injeção de água de refrigeração									
Termômetro do porta-gaxeta	Medir a temperatura da junta hidráulica	Indicar valor incorreto de temperatura	Descalibração do instrumento	Leitura de pressão incorreta	3	1	1	3	1	5	15	- Calibração - Inspeção Visual
		Risco de influenciar a parada indevida da máquina										
		Não indicar medição de temperatura	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Perda de indicação	3	1	1	3	1	2		
Pressostato	Indicar ao sistema de controle central, com sinalização sonora e luminosa, quando a pressão da água a ser estancada é alta	Não acionar alarme	Quebra do instrumento	Risco de danificação das gaxetas e vedações	5	10	5	10	1	4	40	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional
			Risco de operar o sistema com pressão muito alta									
		Acionar indevidamente	Ajuste incorreto do instrumento	Risco de parada indevida da máquina	3	7	5	7	1	3		
			Operação indevida	Distúrbio no funcionamento normal do sistema								
Termostato	Indicar ao sistema de controle central, com sinalização sonora e luminosa, quando a temperatura da junta está alta. Iniciar a parada da máquina.	Indicar valor incorreto de temperatura	Ajuste incorreto do instrumento	Risco de parada indevida da máquina	3	5	3	5	1	5	49	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional
		Não indicar medição de temperatura	Contato danificado	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	3	5	3	5	1	2		
		Não consegue iniciar mecanismo de parada	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Risco de operar o sistema com temperatura inaceitável	7	7	5	7	1	7		

Manômetro	Medir a pressão da água a ser estancada	Indicar valor incorreto de temperatura	Descalibração do instrumento	Leitura de pressão incorreta	3	1	1	3	1	5	15	- Calibração - Inspeção Visual
		Não indicar medição de temperatura	Quebra devido ao engripamento do mecanismo	Perda de indicação	3	1	1	3	1	2		

FMEA DO SISTEMA DE VEDAÇÃO DO EIXO DA TURBINA DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
SISTEMA DE RESFRIAMENTO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
FUNÇÃO	Filtrar a água e Injetá-la sob pressão na cuba da junta hidráulica para resfriar e lubrificar os anéis de vedação											
COMPONENTES	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Motobomba Principal (AN)	Bombear água	Aquecimento excessivo dos componentes	Lubrificação insuficiente	Indicação de falha da bomba principal e Partida da bomba auxiliar	1	3	1	3	1	2	10	- Ensaio funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificar os rolamentos
			Alta perda de carga no circuito									
		Mau escoamento da água	Mau funcionamento da bomba	Vazamento de água	4	1	1	4	1	2		
			Engripamento do mecanismo interno	Risco de quebra da bomba								
		Ruído anormal	Falta de óleo nos rolamentos		2	1	1	2	1	3		
Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico	Risco iminente de indisponibilidade da bomba principal por pressão insuficiente	4	3	5	5	1	2				

Motobomba Auxiliar (AR)	Bombear água	Aquecimento excessivo dos componentes	Lubrificação insuficiente	Indicação de falha da bomba auxiliar e parada emergencial da máquina	1	3	1	3	1	2	10	<ul style="list-style-type: none"> - Ensaio funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificar os rolamentos
			Alta perda de carga no circuito									
		Mau escoamento da água	Mau funcionamento da bomba	Vazamento de água	4	1	1	4	1	2		
			Engripamento do mecanismo interno	Risco de quebra da bomba								
		Ruído anormal	Falta de óleo nos rolamentos	Risco iminente de indisponibilidade da bomba principal por pressão insuficiente	2	1	1	2	1	3		
Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico	4	3		5	5	1	2				
Filtro de água	Retirar impurezas da água	Deterioração	Rompimento da malha do filtro	Comprometimento da lubrificação dos anéis de vedação	4	3	1	4	1	3	12	<ul style="list-style-type: none"> - Limpeza do filtro - Inspeção Visual
			Ruptura dos o'rings									
		Entupimento	Excesso de impurezas	Risco de sobrepressão, quebra da bomba e avarias na tubulação	4	3	1	4	1	1		
Pressostato de partida e parada das motobombas	Indicar pressões baixas ou muito baixas, gerar alarmes, desligar e partir motobombas	Não partir as motobombas	Quebra do instrumento	Falta de reposição de água ao sistema	Risco de indisposição da bomba por baixa pressão	5	5	5	5	1	35	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional
				Risco de indisposição da bomba por baixa pressão								
		Partir indevidamente as motobombas	Ajuste incorreto do contato	Sobrepressão e risco de avarias, vazamento na tubulação e quebra da bomba	7	5	5	7	1	3		
				Distúrbio no funcionamento normal do sistema								
		Operação indevida	Risco de acidente pessoal									
		Não parar as motobombas	Quebra do instrumento	Sobrepressão	5	5	5	5	1	5		
				incrustação da tubulação								
Parar indevidamente as motobombas	Ajuste incorreto do contato	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	5	5	5	5	1	7				
		Operação indevida							Risco de acidente pessoal			

Pressostato diferencial na saída e entrada do sistema de resfriamento	Indicar com sinalização sonora e luminosa a incrustação da tubulação ou perda de carga no sistema de resfriamento	Não indicar alarme	Quebra do instrumento	Risco de sobrepresão, quebra da bomba de circulação de óleo e avarias na tubulação	5	1	5	5	1	4	20	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional
		Acionar indevidamente	Ajuste incorreto do contato	Limpeza ou troca desnecessária do filtro	3	1	1	3	1	1		
			Operação indevida									
Pressostato diferencial na saída e entrada dos filtros	Indicar com sinalização sonora e luminosa o entupimento do filtro	Não indicar alarme	Quebra do instrumento	Risco de sobrepresão, quebra da bomba de circulação de óleo e avarias na tubulação	5	1	5	5	1	4	20	- Verificar ajuste - Inspeção Visual
		Acionar indevidamente	Ajuste incorreto do contato	Limpeza ou troca desnecessária do filtro	3	1	1	3	1	1		
			Operação indevida									
Válvula esfera	Limitar a pressão em caso de obstrução do circuito	Não aliviar a pressão	Emperramento	Rompimento da tubulação e vedações	5	3	1	5	1	3	15	- Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
			Sobrepresão no sistema									
		Operar abaixo da pressão máxima	Obstrução por quebra de mecanismo interno	Quebra da motobomba								
			Ajuste indevido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	4	3	1	4	1	3		
Desgaste na sede da válvula												
Fluxostato de água	Indicar o fluxo de água	Vazamento	Folgas na conexão	- Leitura incorreta de vazão - Risco de ajuste incorreto de outros instrumentos	6	4	3	6	1	5	30	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional - Verificar a ocorrência de vazamentos
		Indicar valor incorreto de vazão de água	Ajuste incorreto		5	4	3	5	1	5		
			Falta de calibração do instrumento									
		Não indicar fluxo de água	Mau contato na fiação	Perda de indicação	4	3	3	4	1	4		
Chave de nível	Indicar na sala de controle e supervisão o valor do nível de água nos tanques de selagem	Indicar valor incorreto de nível	Ajuste incorreto	- Leitura de nível incorreto - Risco de atuação ou parada indevida das motobombas - Risco de parada indevida da máquina	5	4	3	5	1	5	25	- Verificar ajuste - Inspeção Visual - Teste operacional
		Não indicar medição de nível	Quebra do contato ou quebra do instrumento	- Perda de indicação	4	3	3	4	1	4		

FMEA DO SISTEMA DE VEDAÇÃO DO EIXO DA TURBINA DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
SISTEMA DE DRENAGEM					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
FUNÇÃO	Evacuar as fugas d'água ao poço de drenagem											
COMPONENTES	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Motobomba Principal (AK)	Bombear óleo	Não obedece comando para partir	Quebra por desgaste excessivo	Indicação de falha da bomba principal e Partida da bomba auxiliar	4	3	3	4	1	2	45	- Ensaios funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificar os rolamentos
			Contato danificado									
		Não obedece comando para parar	Engripamento do mecanismo interno	Risco de sobrepressão e avarias na tubulação	5	1	1	5	1	2		
		Ruído anormal	Falta de óleo nos rolamentos	Risco de quebra da bomba	3	1	1	3	2	3		
		Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico	Risco iminente de indisponibilidade da bomba principal por pressão insuficiente	5	3	5	5	3	3		
Presença de ar no fluido												
Hidrojeter de emergência (AL)	Bombear água	Aquecimento excessivo dos componentes	Lubrificação insuficiente	- Indicação de falha do hidrojeter de emergência e parada da máquina por falha no sistema de drenagem - Operação desnecessária da bomba principal - Risco de quebra da bomba - Vazamento de óleo - Risco iminente de indisponibilidade da bomba principal por pressão insuficiente	1	10	5	10	1	2	30	- Ensaios funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificar os rolamentos
			Alta perda de carga no circuito									
		Mau escoamento da água	Mau funcionamento da bomba		4	3	1	4	1	3		
			Engripamento do mecanismo interno									
		Ruído anormal	Falta de óleo nos rolamentos		4	10	5	10	1	3		
Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico											

Pressostato de partida e parada das motobombas	Indicar pressões baixas ou muito baixas, gerar alarmes, desligar e partir motobombas	Não partir as motobombas	Quebra do instrumento	Falta de reposição de água ao sistema	1	7	5	7	1	2	35	- Verificar ajuste - Verificar estado de funcionalidade - Teste operacional	
				Risco de indisposição da bomba por baixa pressão									
		Partir indevidamente as motobombas	Ajuste incorreto do contato	Sobrepressão e risco de avarias, vazamento na tubulação e quebra da bomba									
				Distúrbio no funcionamento normal do sistema	5	7	3	7	1	5			
			Operação indevida	Risco de acidente pessoal									
		Não parar as motobombas	Quebra do instrumento	Sobrepressão									
				incrustração da tubulação	4	3	3	4	1	1			
		Parar indevidamente as motobombas	Ajuste incorreto do contato	Distúrbio no funcionamento normal do sistema									
Risco de acidente pessoal	5			1	1	5	1	5					
Chave de nível	Indicar na sala de controle e supervisão o valor do nível de água no poço de drenagem	Indicar valor incorreto de nível	Ajuste incorreto	- Leitura de nível incorreto - Risco de atuação ou parada indevida das motobombas - Risco de parada indevida da máquina	5	5	3	5	1	5	30	- Verificar ajuste - Verificar estado de funcionalidade - Verificar existência de vazamentos	
				Não indicar medição de nível	Quebra do contato ou quebra do instrumento	- Perda de indicação	4	5	3	5			2
Painel Elétrico	Indicar alarmes, trips e condições de operação do sistema	Não indicar alarmes	Queima dos LED's	Perda de indicação							7	- Verificar posição, nível e alinhamento - Verificar fixação e estado geral dos componentes internos no painel - Verificar etiquetas de identificação dos cabos e terminais - Verificar lâmpadas de sinalização - Verificar aterramento geral	
			Mau contato na fiação										

Tubulações e conexões	Conduzir óleo	Não conduzir o óleo corretamente	Vazamento por ruptura da tubulação	Risco de acidente pessoal	5	3	3	5	2	5	50	- Inspeção visual dos estado geral das tubulações - Drenar e purificar o óleo
				Impossibilidade de reposição de óleo								
			Obstrução por deformação permanente	Risco de parada da máquina								
			Obstrução por contaminação do fluido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema								
Válvulas	Limitar a pressão em caso de obstrução do circuito	Não aliviar a pressão	Emperramento	Rompimento da tubulação e vedações	5	5	3	5	3	4	60	- Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
			Sobrepresão no sistema									
			Obstrução por quebra de mecanismo interno	Quebra da motobomba								
		Operar abaixo da pressão máxima	Ajuste indevido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	1	3	1	5	1	4		
Desgaste na sede da válvula												

FMEA DO SISTEMA DO DISTRIBUIDOR DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE						TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO	
SERVOMOTOR					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO		AVALIAÇÃO GERAL (NPR)
FUNÇÃO	Acionar o movimento das palhetas											
COMPONENTES	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Cilindro	Promover a movimentação do anel de sincronismo	Deterioração	Corrosão devido ao desgaste da pintura	- Dificuldade de controle da movimentação das palhetas - Dificuldade de controle da velocidade de rotação da turbina - Risco de quebra do cilindro - Risco de parada da máquina	4	5	5	5	1	6	30	- Verificar estado geral de conservação - Verificar estanqueidade entre as câmaras - Verificar estado de conservação dos diafragmas e travas manuais - Verificar fixação ente o cilindro e as hastes
			Excesso de impurezas no óleo									
			Falta de óleo nos rolamentos									
		Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico									
		Sobrepresão	Mau funcionamento do cilindro									
Válvula de alívio mal regulada												
Haste	Transferir os esforços do cilindro às bielas	Arranhões, trincas e empenamento	Corrosão devido ao desgaste da pintura	Falta de controle da movimentação das palhetas	5	3	3	5	1	5	25	- Verificar ajuste - Inspeção Visual quanto ao estado geral de limpeza, conservação e fixação
				Dificuldade de controle da velocidade de rotação da turbina								

Válvulas	Limitar a pressão em caso de obstrução do circuito	Não aliviar a pressão	Emperramento	Rompimento da tubulação e vedações	5	3	3	5	1	5	25	- Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
			Obstrução por quebra de mecanismo interno	Danificação do cilindro								
		Operar abaixo da pressão máxima	Ajuste indevido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	5	3	3	5	1	5		
			Desgaste na sede da válvula									
Trava de segurança	Travar os servomotores, mantendo o distribuidor na posição aberta durante a inspeção. Evitando assim um fechamento acidental e a partida da unidade.	Não travar o servomotor	Quebra por desgaste excessivo	Grave risco de acidente pessoal	8	1	1	8	1	6	48	- Ensaio funcionais - Inspeção visual - Verificar ajuste
Guarnições	Lubrificar o servomotor e drenar fugas de água	Não lubrificar corretamente	- Vazamento por ruptura da tubulação - Obstrução por deformação permanente - Obstrução por contaminação do fluido	Risco de acidente pessoal	7	5	5	7	1	5	35	- Verificar estanqueidade das tubulações - verificar estado geral quanto a corrosão
				Impossibilidade de reposição de óleo								
		Não drenar corretamente		Risco de parada da máquina	5	5	5	5	1	5		
				Distúrbio no funcionamento normal do sistema								

FMEA DO SISTEMA DO DISTRIBUIDOR DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE						TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO	
PALHETA DIRETRIZ					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO		AVALIAÇÃO GERAL (NPR)
FUNÇÃO	Direcionar o fluxo de água à roda da turbina de modo a garantir uma vazão constante											
COMPONENTES	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Bucha	Fixar a palheta diretriz ao cubo guia e às tampas	Existência de folgas grandes entre a palheta diretriz e as tampas	Falta de ajuste	- Má fixação da palheta - Perda do controle de posição - Risco de parada da máquina	4	3	3	4	1	5	20	- Verificar ajuste - Inspeção visual quanto a limpeza e conservação
			Montagem mal feita									
			Bucha com lábios deteriorados									

Palheta	Direcionar o fluxo de água à roda da turbina	Erosão por cavitação	Mau funcionamento do sistema de injeção de ar	- Risco de escoamento turbulento - Vibrações excessivas na palheta - Desgaste acentuado	4	10	5	10	1	5	50	- Medir as folgas entre as palhetas diretrizes e tampas superior e inferior - Inspeção Visual
			Corrosão devido ao desgaste da pintura									
Vedações	Garantir estanqueidade	Má vedação	Anéis de vedação e gaxetas desgastadas	Fuga de água para o eixo da turbina	4	3	3	4	2	4	32	- Verificar o estado geral quanto a corrosão - Verificar estanqueidade - Verificar existência de vazamentos

FMEA DO SISTEMA DO DISTRIBUIDOR DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE						TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO	
MECANISMO DE ACIONAMENTO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO		AVALIAÇÃO GERAL (NPR)
FUNÇÃO	Transferir o movimento dos servomotores às palhetas											
COMPONENTES	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Anel de sincronismo	Garantir a movimentação sincronizada das palhetas	Desgaste por corrosão, fadiga, rachaduras e fraturas	Montagem incorreta	Risco de desencaixe do pino	4	5	5	5	2	3	30	- Limpeza do filtro - Inspeção visual
			Desalinhamento do anel	Risco de parada da máquina								
			Falta de ajuste	Má vedação nas palhetas								
Biela	Transformar axial do cilindro em movimento rotativo do anel de sincronismo	Desgaste por corrosão, fadiga, rachaduras e fraturas	Quebra	Falta de controle da movimentação das palhetas	4	1	5	5	1	5	25	- Verificar ajuste - Inspeção visual quanto ao estado geral de limpeza e conservação
				Dificuldade de controle da velocidade de rotação da turbina								

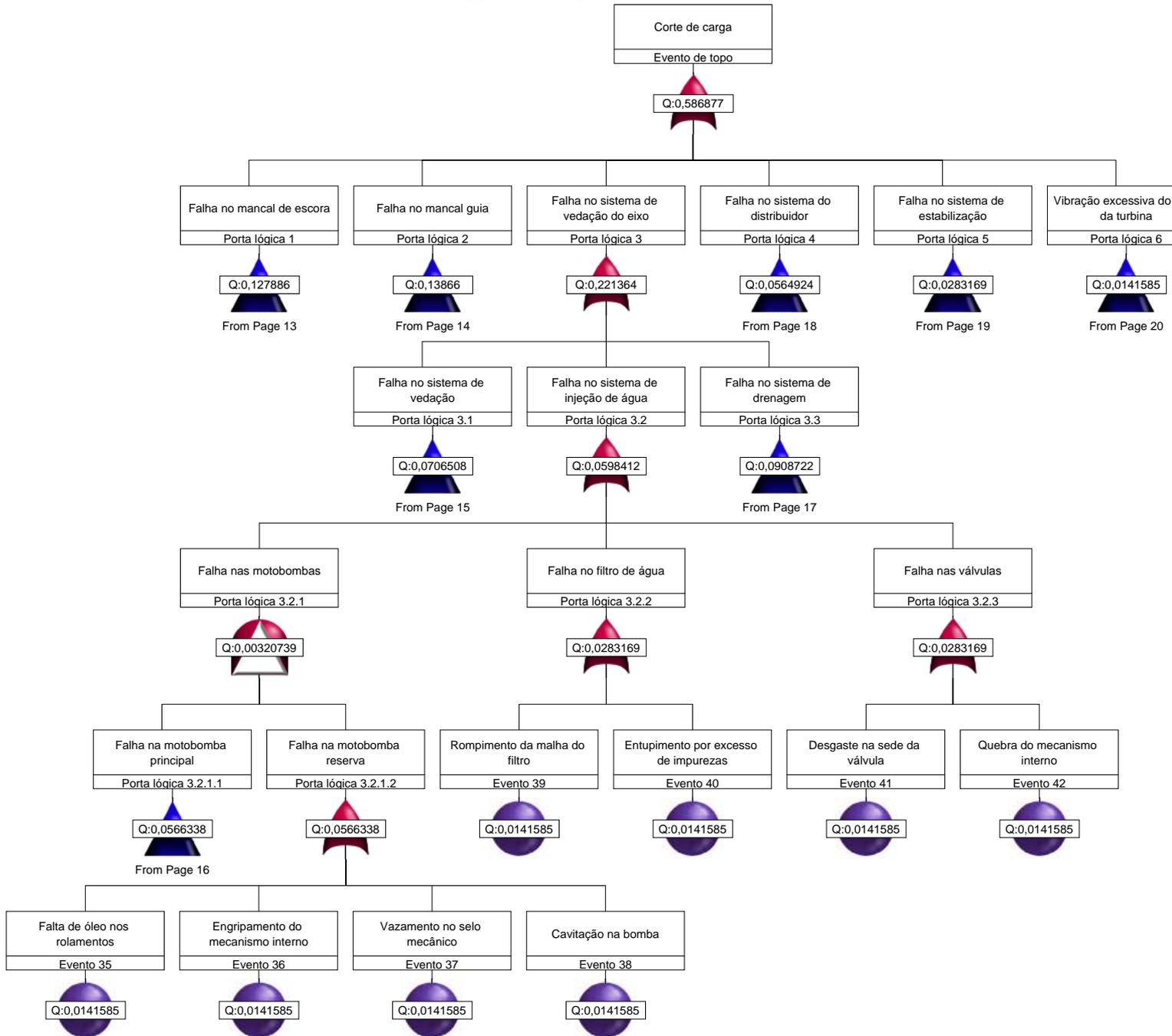
Fim de curso	Indicar a abertura ou o fechamento completo das palhetas	Não indicar o fim de curso das palhetas	Excesso de sujeiro	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de controle da posição de abertura ou fechamento completo da palheta - Aplicação de carga excessiva sobre a palheta - Ruptura do pino de cisalhamento - Risco de danificação da palheta e manivela - Parada da máquina 	4	1	3	4	1	5	20	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar ajuste - Inspeção visual quanto ao estado geral de limpeza e conservação
			Desgaste das partes mecânicas móveis									
Manivela	Transferir esforços das bielas às palhetas	Desgaste por corrosão, fadiga, rachaduras e fraturas	Quebra	Falta de controle da movimentação das palhetas	4	3	3	4	1	5	20	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar ajuste - Inspeção visual quanto ao estado geral de limpeza e conservação
				Dificuldade de controle da velocidade de rotação da turbina								
Pino de cisalhamento	Romper quando durante o fechamento do distribuidor um corpo estranho ficar entre duas diretrizes, protegendo as demais peças do mecanismo de regulação e diretrizes	Ruptura	Obstrução do movimento das palhetas devido a presença de um corpo estranho entre as mesmas	Parada da máquina	4	1	1	4	1	2	8	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção visual travamento e posicionamento
Travas	Garantir fixação entre as partes móveis do mecanismo de acionamento	Folgas indesejáveis	Falta de ajuste	Dificuldade de controle da movimentação das palhetas	4	3	3	4	1	5	20	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção visual - Verificar ajuste e fixação
			Montagem incorreta	Dificuldade de controle da velocidade de rotação da turbina								

FMEA DO SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO DA UGH-01 DE BALBINA					FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE							TAREFA PROPOSTA PARA MANUTENÇÃO
FUNÇÃO					SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	CORTE DE CARGA	PERDA DE FATURAMENTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	AVALIAÇÃO GERAL (NPR)	
Suprir automaticamente de ar o compartimento do rotor da turbina para evitar eventuais formações de vácuo												
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)								
Válvula de aeração	Equilibrar a pressão de dentro da tampa superior com a pressão atmosférica	Folgas na conexão	Falta de ajuste das molas Corrosão das molas	- Distúrbio no funcionamento normal do sistema - Risco de formação de vácuo no compartimento do rotor, cavitação das pás e vibração anormal do eixo da turbina	5	10	7	10	1	4	40	-Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
		Vazamento de água	Emperramento da bóia									
			Desgaste na sede da válvula ou nos componentes de vedação de emergência									

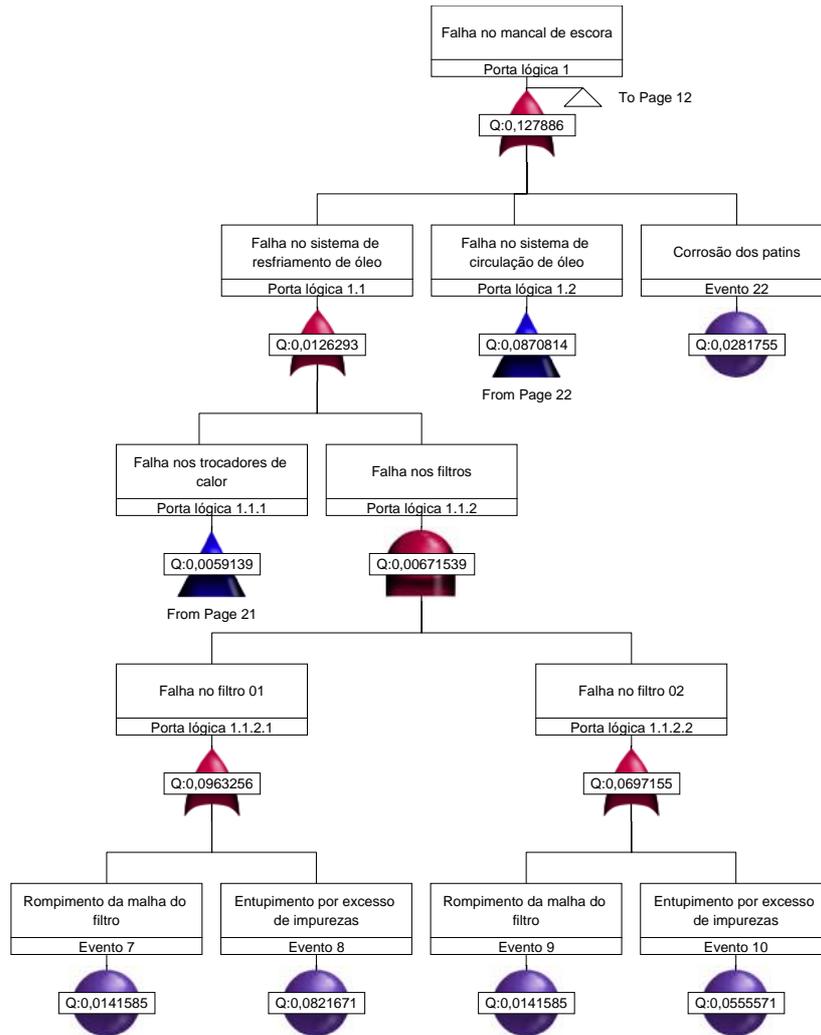
ANEXO IV

ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS FTA

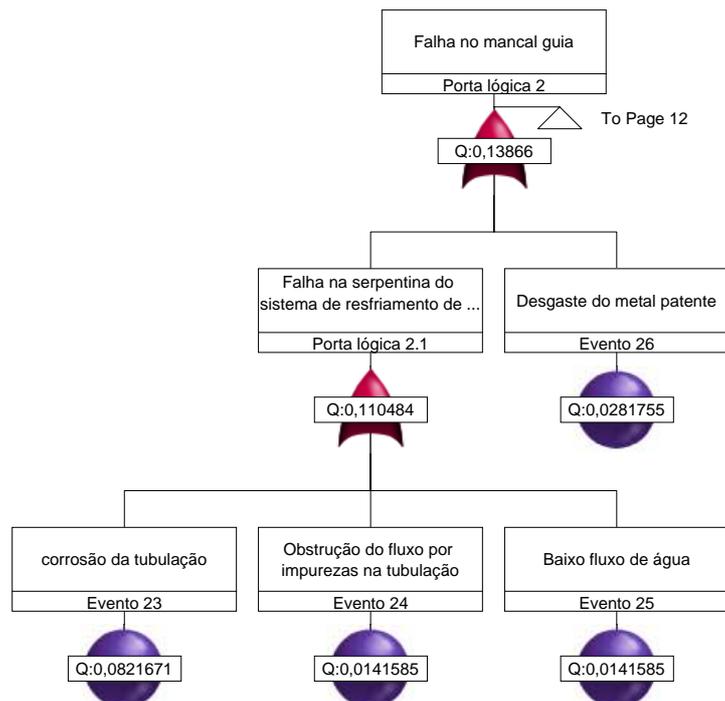
Árvore de Falhas



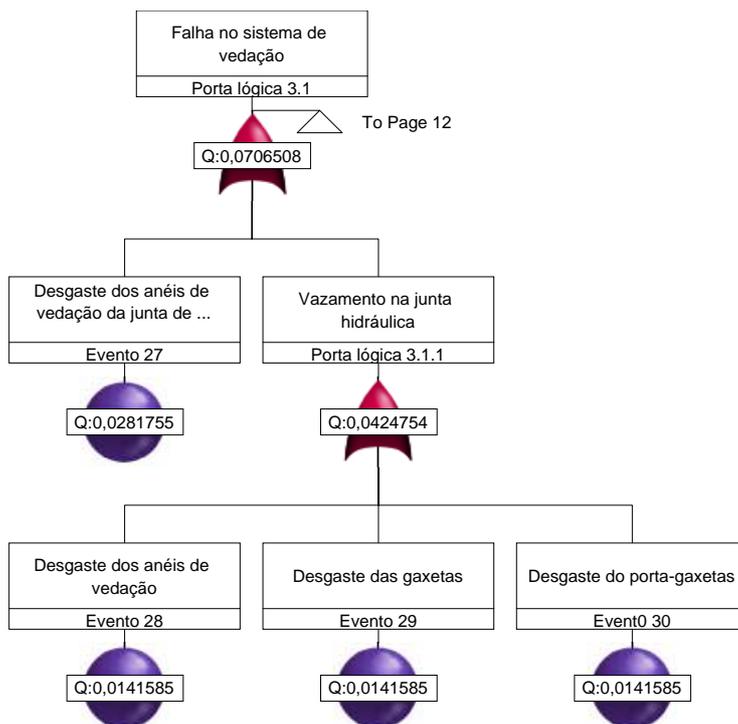
(Page 13)



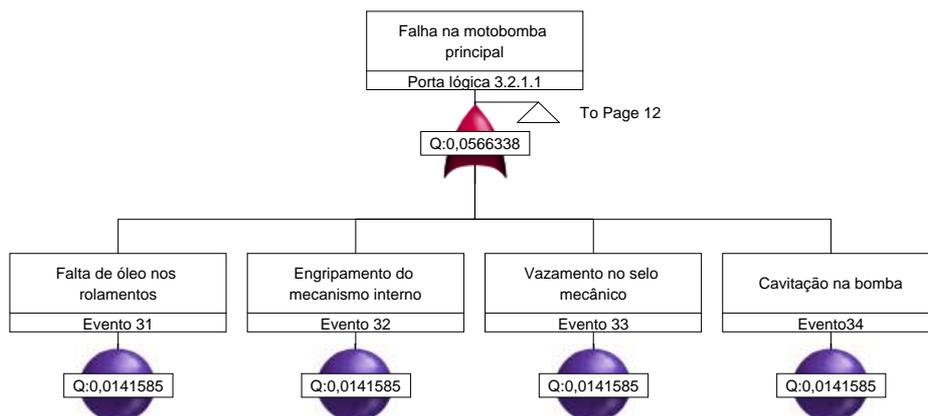
(Page 14)



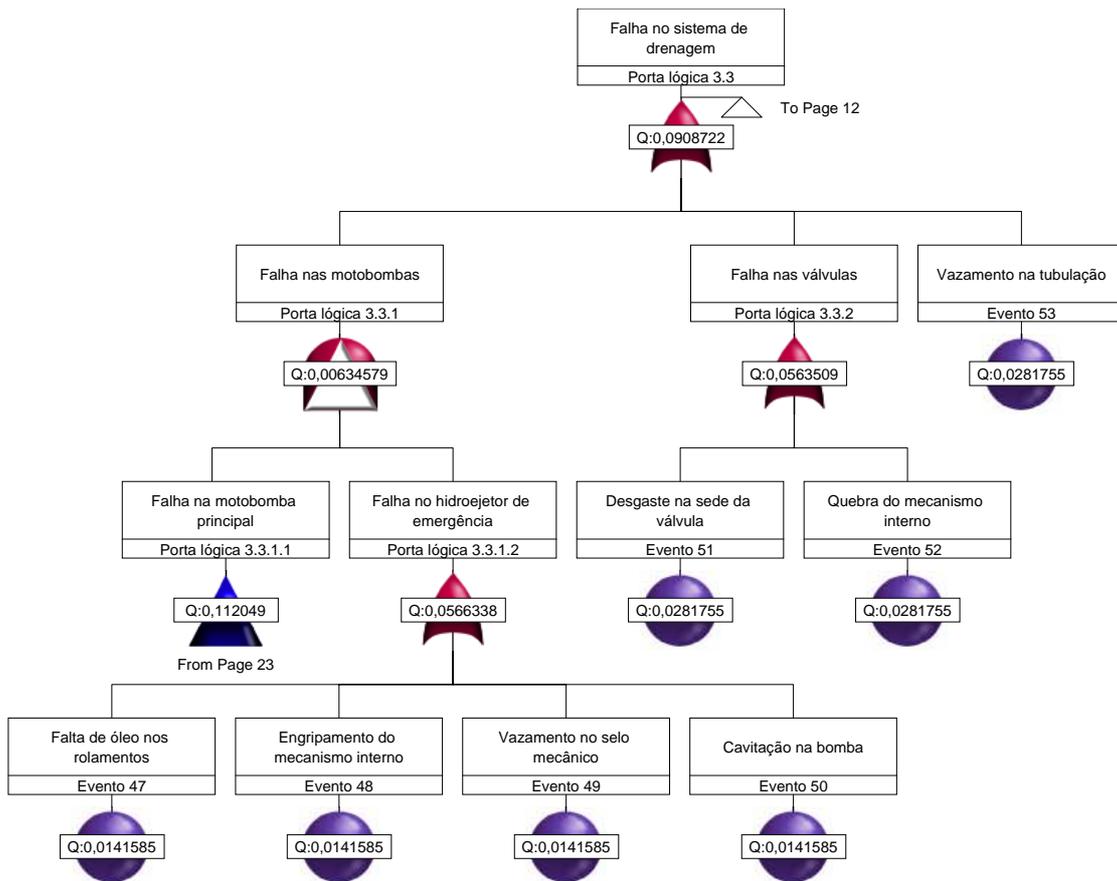
(Page 15)



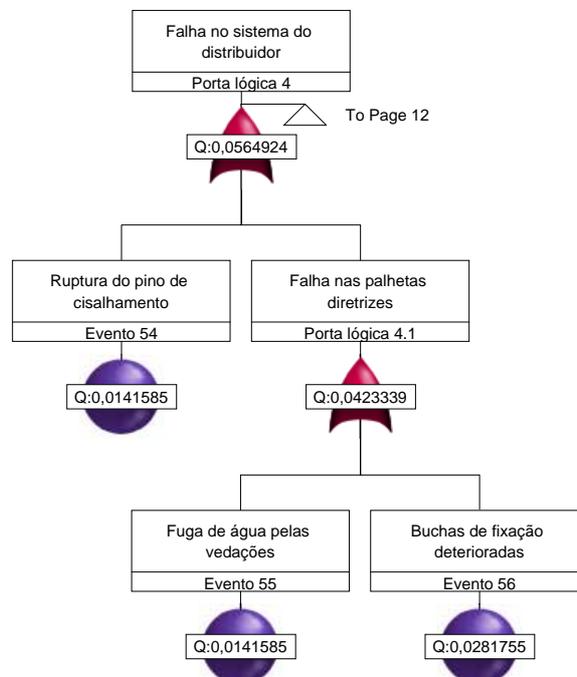
(Page 16)



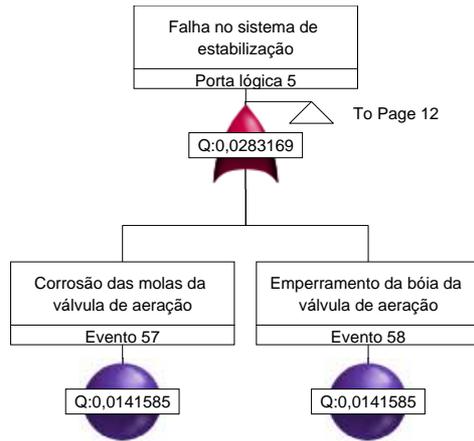
(Page 17)



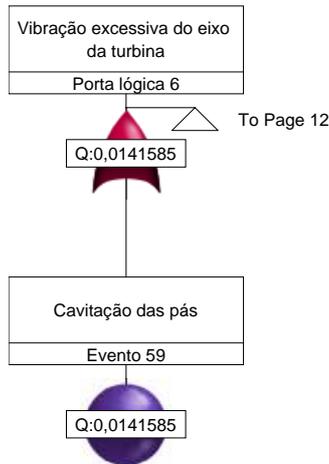
(Page 18)



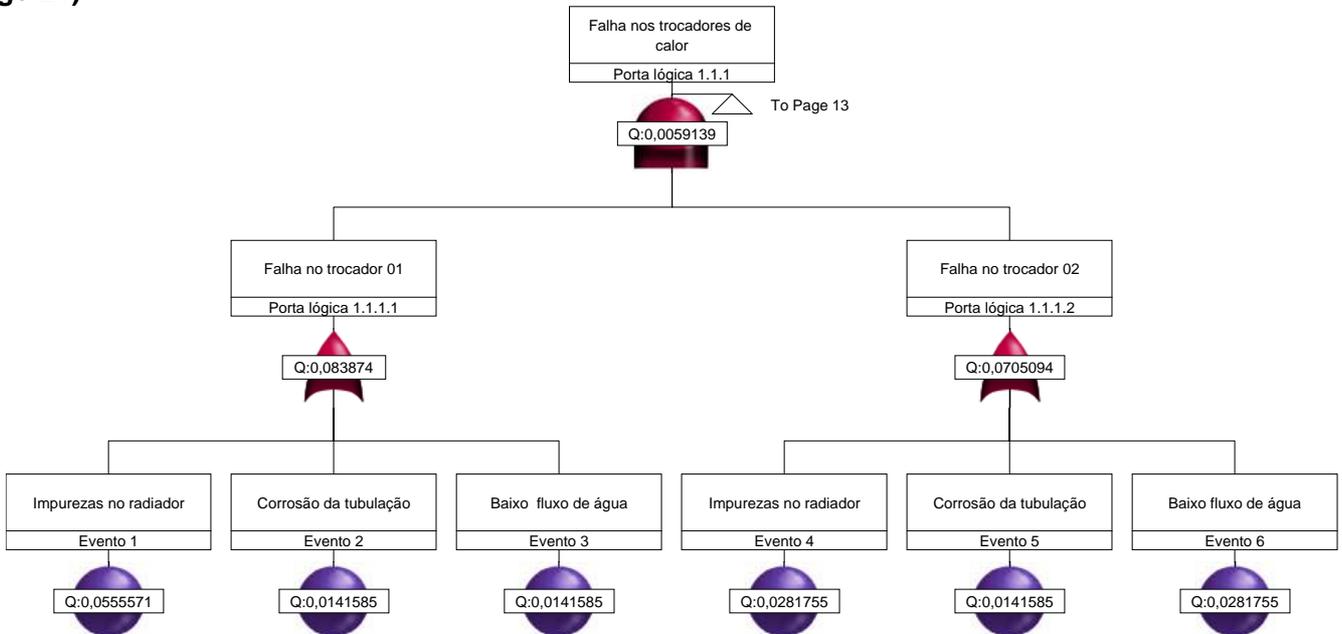
(Page 19)



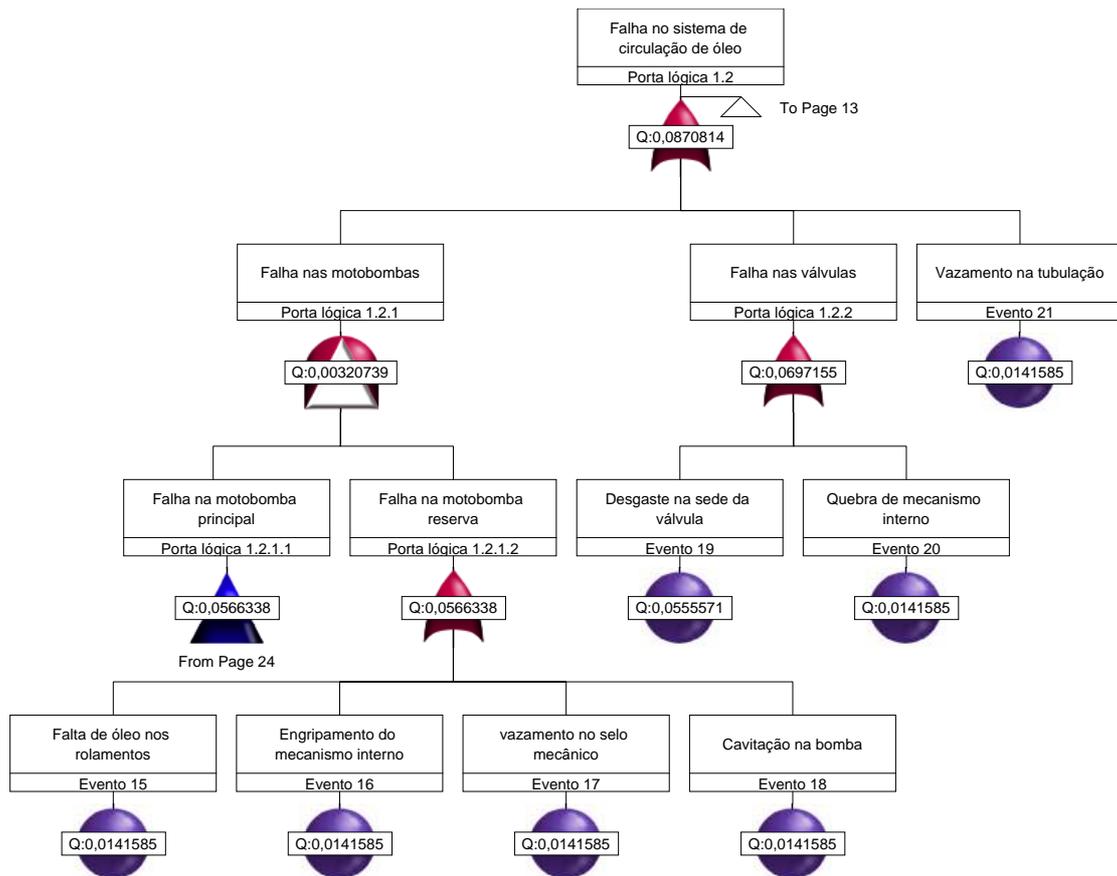
(Page 20)



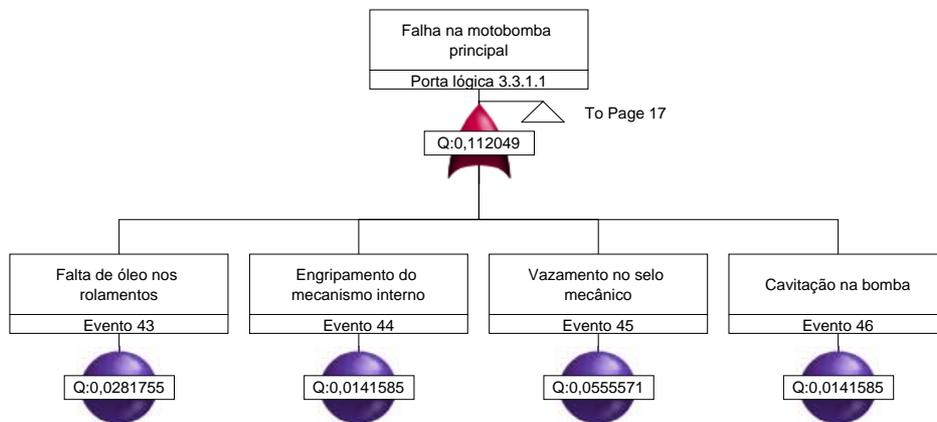
(Page 21)



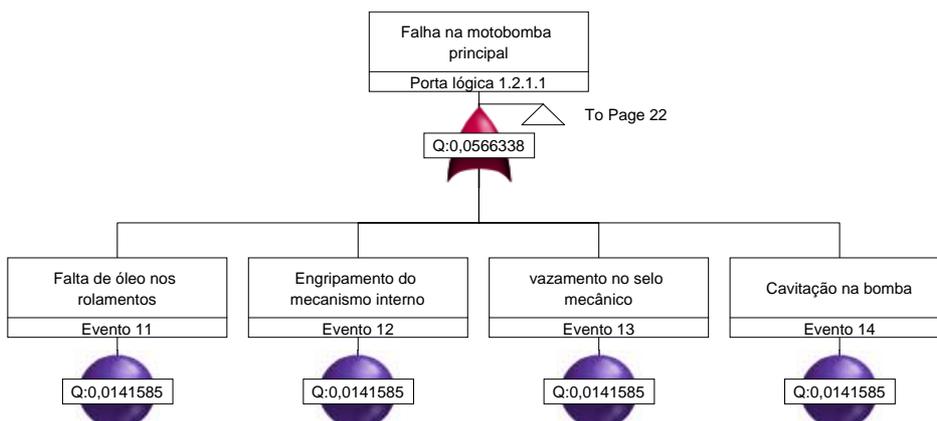
(Page 22)



(Page 23)



(Page 24)



ANEXO V

RELATÓRIO RELEX PADRÃO DE PREDIÇÃO DA CONFIABILIDADE



Equipamento: UGH-01
TAG: UGH-01
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição: Top-level assembly
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.002761
MTBF 362

Equipamento/Sistema	Componente	TAG	Qtd	Taxa de Falha	MTBF
UNIDADE GERADORA HIDRÁULICA 01	UGH-01	UGH-01	1.00	0.002761	362
SISTEMA DA TURBINA	SISTEMA DA TURBINA		1.00	0.002761	362
TURBINA KAPLAN	TURBINA KAPLAN		1.00	0.000128	7,783
MANCAL ESCORA	MANCAL ESCORA		1.00	0.001285	773
CUBA	CUBA		1.00	0.000200	5,000
SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE ÓLEO	SISTEMA DE CIRCULAÇÃO		1.00	0.000243	4,115
SISTEMA DE RESFRIAMENTO	SISTEMA DE RESFRIAMENTO		1.00	0.000486	2,051
SISTEMA DE INJEÇÃO	SISTEMA DE INJEÇÃO		1.00	0.000357	2,801
MANCAL GUIA DA TURBINA	MANCAL GUIA		1.00	0.000200	5,000
CUBA	CUBA		1.00	0.000100	10,000
SISTEMA DE RESFRIAMENTO	SISTEMA DE RESAFRIAMENTO		1.00	0.000100	10,000
SISTEMA DE VEDAÇÃO DO EIXO DA TURBINA	SISTEMA DE VEDAÇÃO		1.00	0.000877	1,140
SISTEMA DE VEDAÇÃO	VEDAÇÃO		1.00	0.000114	8,763
SISTEMA DE RESFRIAMENTO			1.00	0.000462	2,165
SISTEMA DE DRENAGEM	DRENAGEM		1.00	0.000300	3,333
SISTEMA DO DISTRIBUIDOR	SISTEMA DO DISTRIBUIDOR		1.00	0.000214	4,673
SERVOMOTOR	SERVOMOTOR		1.00	0.000057	17,533
PALHETA DIRETRIZ	PALHETA DIRETRIZ		1.00	0.000057	17,511
MECANISMO DE ACIONAMENTO	MECANISMO DE ACIONAMENTO		1.00	0.000100	10,011
SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO	SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO		1.00	0.000057	17,533



FINATEC

Equipamento: TURBINA KAPLAN
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura:

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000128
MTBF 7,785

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
CABEÇOTE KAPLAN	Mechanical Part	G1SIMMEMK	1,43e-005	1.00	1,43e-005
EIXO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
SENSOR DE VIBRAÇÃO	Mechanical Part		1,43e-005	2.00	2,85e-005
PÁS	Rotating Device		2,86e-005	1.00	2,86e-005
RODA KAPLAN	Rotating Device		2,86e-005	1.00	2,86e-005
TAMPA	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005



FINATEC

Equipamento: CUBA
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000200
MTBF 5,003

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
BLOCO DE ESCORA	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
ÓLEO LUBRIFICANTE	Other		2,86e-005	1.00	2,86e-005
PISTA DE GUIA	Other		2,86e-005	1.00	2,86e-005
SEGMENTO DO MANCAL	Other		2,86e-005	1.00	2,86e-005
TUBULAÇÕES E CONEXÕES	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
TERMOSTATO (METAL)	Mechanical Part	G138ME	1,43e-005	3.00	4,28e-005
TERMOSTATO (ÓLEO)	Mechanical Part	G138MI	1,43e-005	1.00	1,43e-005
CHAVE DE NÍVEL	Mechanical Part	G171MC	2,86e-005	1.00	2,86e-005



FINATEC

Equipamento: SISTEMA DE CIRCULAÇÃO
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000243
MTBF 4,120

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
MOTO BOMBA	Mechanical Part		1,43e-005	2.00	2,85e-005
FLUXOSTATO	Mechanical Part	G180LP	8,57e-005	1.00	8,57e-005
PRESSOSTATO AI	Mechanical Part	G163LX	1,43e-005	1.00	1,43e-005
PRESSOSTATO AJ	Mechanical Part	G163LY	1,43e-005	1.00	1,43e-005
PAINEL ELÉTRICO	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
TUBULAÇÕES E CONEXÕES	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
VÁLVULA DE ISOLAMENTO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
VÁLVULA DE ALÍVIO	Mechanical Part		5,72e-005	1.00	5,72e-005



FINATEC

Equipamento: SISTEMA DE RESFRIAMENTO
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000486
MTBF 2,059

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
FILTRO	Mechanical Part		1,43e-004	2.00	2,86e-004
PRESSOTATO	Mechanical Part	G163MB	1,43e-005	1.00	1,43e-005
DIFERENCIAL					
TERMOSTATO (ÓLEO)	Mechanical Part	G126OTMCE	1,43e-005	1.00	1,43e-005
TERMOSTATO (ÁGUA)	Mechanical Part	G126ATMCS	1,43e-005	1.00	1,43e-005
MEDIDOR DE	Mechanical Part	DT302-1	1,43e-005	1.00	1,43e-005
DENSIDADE					
FLUXOSTATO	Mechanical Part	G180MM	1,43e-005	1.00	1,43e-005
TROCADOR DE CALOR	Other		1,14e-004	1.00	1,14e-004
TUBULAÇÕES E	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
CONEXÕES					



FINATEC

Equipamento: SISTEMA DE INJEÇÃO
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate: 0.000357
MTBF: 2,801

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
FILTRO	Mechanical Part		1,14e-004	2.00	2,29e-004
MOTOBOMBA	Mechanical Part		1,43e-005	2.00	2,85e-005
PRESSOSTATO AG	Mechanical Part	G163LV	1,43e-005	1.00	1,43e-005
PRESSOSTATO AH	Mechanical Part	G163LW	1,43e-005	1.00	1,43e-005
PRESSOSTATO DIFERENCIAL	Mechanical Part	G163CS	1,43e-005	1.00	1,43e-005
PAINEL ELÉTRICO	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
TUBULAÇÕES E CONEXÕES	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
VÁLVULA DE ISOLAMENTO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
VÁLVULA DE ALÍVIO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005



FINATEC

Equipamento: CUBA
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000100
MTBF 10,006

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
SEGMENTO DO MANCAL	Other		2,86e-005	1.00	2,86e-005
ÓLEO LUBRIFICANTE	Other		2,86e-005	1.00	2,86e-005
TERMOSTATO (METAL)	Mechanical Part	G138MK	1,43e-005	1.00	1,43e-005
TERMOSTATO (ÓLEO)	Mechanical Part	G138MJ	1,43e-005	1.00	1,43e-005
PRESSOSTATO	Mechanical Part	G163MS	1,43e-005	1.00	1,43e-005



FINATEC

Equipamento: SISTEMA DE RESAFRIAMENTO
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000100
MTBF 10,000

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
SERPENTINA	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
TUBULAÇÕES E CONEXÕES	Other		8,57e-005	1.00	8,57e-005



FINATEC

Equipamento: VEDAÇÃO
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000114
MTBF 8,761

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
CUBA DA JUNTA	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
JUNTA DE MANUTENÇÃO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
JUNTA DE VEDAÇÃO	Mechanical Part		2,86e-005	1.00	2,86e-005
JUNTA HIDRÁULICA	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
PRESSOSTATO JM	Mechanical Part	G163CW	1,43e-005	1.00	1,43e-005
PRESSOSTATO JV	Mechanical Part	G163MQ	1,43e-005	1.00	1,43e-005
TERMOSTATO	Mechanical Part	G126AVE	1,43e-005	1.00	1,43e-005



FINATEC

Equipamento:
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura:

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate: 0.000462
MTBF: 2,162

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
MOTOBOMBA	Mechanical Part		1,43e-005	2.00	2,85e-005
FILTRO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
PRESSOSTATO	Mechanical Part	B63ANR	1,43e-005	1.00	1,43e-005
PRESSOSTATO	Mechanical Part	F63MR	1,43e-005	1.00	1,43e-005
DIFERENCIAL FT					
PRESSOSTATO	Mechanical Part	G163AVE	1,43e-005	1.00	1,43e-005
DIFERENCIAL SR					
VÁLVULA ESFERA	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
FLUXOSTATO	Mechanical Part	G180MP	1,43e-005	1.00	1,43e-005
TANQUE DE SELAGEM	Other		.00	1.00	.00
01					
TANQUE DE SELAGEM	Other		.00	1.00	.00
02					
CHAVE DE NÍVEL 01	Mechanical Part	TQS71MO1	1,74e-004	1.00	1,74e-004
CHAVE DE NÍVEL 02	Mechanical Part	TQS72MO2	1,74e-004	1.00	1,74e-004



FINATEC

Equipamento: DRENAGEM
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura:

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000300
MTBF 3,333

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
MOTO BOMBA	Mechanical Part		8,57e-005	2.00	1,71e-004
PRESSOSTATO	Mechanical Part	G163BAKL	1,43e-005	1.00	1,43e-005
CHAVE DE NÍVEL	Mechanical Part	G171SDT	2,86e-005	1.00	2,86e-005
PAINEL ELÉTRICO	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
TUBULAÇÕES E CONEXÕES	Other		2,86e-005	1.00	2,86e-005
VÁLVULAS	Mechanical Part		2,86e-005	1.00	2,86e-005
POÇO DE DRENAGEM	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005



FINATEC

Equipamento: SERVOMOTOR
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000057
MTBF 17,532

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
CILINDRO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
GUARNIÇÕES	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
HASTE	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
VÁLVULAS	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005



FINATEC

Equipamento: PALHETA DIRETRIZ
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000057
MTBF 17,513

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
BUCHA	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
PALHETA	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
VEDAÇÕES	Mechanical Part		2,86e-005	1.00	2,86e-005



FINATEC

Equipamento: MECANISMO DE ACIONAMENTO
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000100
MTBF 10,012

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
ANEL DE SINCRONISMO	Other		2,86e-005	1.00	2,86e-005
BIELA	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
FIM DE CURSO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
MANIVELA	Other		1,43e-005	1.00	1,43e-005
PINO DE CISALHAMENTO	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005
TRAVAS	Mechanical Part		1,43e-005	1.00	1,43e-005



FINATEC

Equipamento: SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO
TAG:
Data: dezembro 8, 2006
Temperatura: 40.00

Descrição:
Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturb-
Horário: 4:25
Failure Rate 0.000057
MTBF 17,532

Componente	Categoria	TAG	Taxa de falha, unitária	Quantidade	Taxa de falha
VÁLVULA DE AERAÇÃO	Mechanical Part		1,43e-005	4.00	5,70e-005

ANEXO VI

SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO



Instante Inicial: .00
Instante Final: 9000.00
Período: 31.00

Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturbina_-
Horário: 10:20
Data: dezembro 8, 2006

Nome	Tempo	Confiabilidade	Disponibilidade	Inconfiabilidade	Indisponibilidade
	.00	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
Vibração	300.00	0.99573125	0.99573125	0.00426875	0.00426875
excessiva do	600.00	0.99148071	0.99148071	0.00851929	0.00851929
eixo da turbina	900.00	0.98724832	0.98724832	0.01275168	0.01275168
	1200.00	0.98303400	0.98303400	0.01696600	0.01696600
	1500.00	0.97883767	0.97883767	0.02116233	0.02116233
	1800.00	0.97465925	0.97465925	0.02534075	0.02534075
	2100.00	0.97049867	0.97049867	0.02950133	0.02950133
	2400.00	0.96635585	0.96635585	0.03364415	0.03364415
	2700.00	0.96223072	0.96223072	0.03776928	0.03776928
	3000.00	0.95812319	0.95812319	0.04187681	0.04187681
	3300.00	0.95403320	0.95403320	0.04596680	0.04596680
	3600.00	0.94996066	0.94996066	0.05003934	0.05003934
	3900.00	0.94590551	0.94590551	0.05409449	0.05409449
	4200.00	0.94186768	0.94186768	0.05813232	0.05813232
	4500.00	0.93784707	0.93784707	0.06215293	0.06215293
	4800.00	0.93384363	0.93384363	0.06615637	0.06615637
	5100.00	0.92985729	0.92985729	0.07014271	0.07014271
	5400.00	0.92588795	0.92588795	0.07411205	0.07411205
	5700.00	0.92193556	0.92193556	0.07806444	0.07806444
	6000.00	0.91800005	0.91800005	0.08199995	0.08199995
	6300.00	0.91408133	0.91408133	0.08591867	0.08591867
	6600.00	0.91017934	0.91017934	0.08982066	0.08982066
	6900.00	0.90629401	0.90629401	0.09370599	0.09370599
	7200.00	0.90242526	0.90242526	0.09757474	0.09757474
	7500.00	0.89857303	0.89857303	0.10142697	0.10142697
	7800.00	0.89473724	0.89473724	0.10526276	0.10526276
	8100.00	0.89091783	0.89091783	0.10908217	0.10908217
	8400.00	0.88711472	0.88711472	0.11288528	0.11288528
	8700.00	0.88332784	0.88332784	0.11667216	0.11667216
	9000.00	0.87955713	0.87955713	0.12044287	0.12044287



Instante Inicial: .00
Instante Final: 9000.00
Período: 31.00

Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturbina_-
Horário: 10:20
Data: dezembro 8, 2006

Nome	Tempo	Confiabilidade	Disponibilidade	Inconfiabilidade	Indisponibilidade
	.00	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
Falha no mancal de escora	300.00	0.97880201	1.00000000	0.02119799	0.00000000
	600.00	0.95805338	1.00000000	0.04194662	0.00000000
	900.00	0.93774457	1.00000000	0.06225543	0.00000000
	1200.00	0.91786627	1.00000000	0.08213373	0.00000000
	1500.00	0.89840935	1.00000000	0.10159065	0.00000000
	1800.00	0.87936488	1.00000000	0.12063512	0.00000000
	2100.00	0.86072411	1.00000000	0.13927589	0.00000000
	2400.00	0.84247849	1.00000000	0.15752151	0.00000000
	2700.00	0.82461964	1.00000000	0.17538036	0.00000000
	3000.00	0.80713936	1.00000000	0.19286064	0.00000000
	3300.00	0.79002963	1.00000000	0.20997037	0.00000000
	3600.00	0.77328259	1.00000000	0.22671741	0.00000000
	3900.00	0.75689055	1.00000000	0.24310945	0.00000000
	4200.00	0.74084600	1.00000000	0.25915400	0.00000000
	4500.00	0.72514155	1.00000000	0.27485845	0.00000000
	4800.00	0.70977001	1.00000000	0.29022999	0.00000000
	5100.00	0.69472431	1.00000000	0.30527569	0.00000000
	5400.00	0.67999755	1.00000000	0.32000245	0.00000000
	5700.00	0.66558297	1.00000000	0.33441703	0.00000000
	6000.00	0.65147395	1.00000000	0.34852605	0.00000000
	6300.00	0.63766401	1.00000000	0.36233599	0.00000000
	6600.00	0.62414682	1.00000000	0.37585318	0.00000000
	6900.00	0.61091616	1.00000000	0.38908384	0.00000000
	7200.00	0.59796596	1.00000000	0.40203404	0.00000000
	7500.00	0.58529029	1.00000000	0.41470971	0.00000000
	7800.00	0.57288331	1.00000000	0.42711669	0.00000000
	8100.00	0.56073934	1.00000000	0.43926066	0.00000000
	8400.00	0.54885279	1.00000000	0.45114721	0.00000000
	8700.00	0.53721821	1.00000000	0.46278179	0.00000000
	9000.00	0.52583027	1.00000000	0.47416973	0.00000000



Instante Inicial: .00
Instante Final: 9000.00
Período: 31.00

Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturbina_-
Horário: 10:20
Data: dezembro 8, 2006

Nome	Tempo	Confiabilidade	Disponibilidade	Inconfiabilidade	Indisponibilidade
Falha no mancal guia	.00	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
	300.00	0.98274743	0.99711974	0.01725257	0.00288026
	600.00	0.96523428	1.00000000	0.03476572	0.00000000
	900.00	0.94749218	0.99711974	0.05250782	0.00288026
	1200.00	0.92955207	1.00000000	0.07044793	0.00000000
	1500.00	0.91144416	0.99711974	0.08855584	0.00288026
	1800.00	0.89319786	1.00000000	0.10680214	0.00000000
	2100.00	0.87484173	0.99711974	0.12515827	0.00288026
	2400.00	0.85640348	1.00000000	0.14359652	0.00000000
	2700.00	0.83790990	0.99711974	0.16209010	0.00288026
	3000.00	0.81938683	1.00000000	0.18061317	0.00000000
	3300.00	0.80085917	0.99711974	0.19914083	0.00288026
	3600.00	0.78235082	1.00000000	0.21764918	0.00000000
	3900.00	0.76388469	0.99711974	0.23611531	0.00288026
	4200.00	0.74548267	1.00000000	0.25451733	0.00000000
	4500.00	0.72716564	0.99711974	0.27283436	0.00288026
	4800.00	0.70895345	1.00000000	0.29104655	0.00000000
	5100.00	0.69086493	0.99711974	0.30913507	0.00288026
	5400.00	0.67291788	1.00000000	0.32708212	0.00000000
	5700.00	0.65512908	0.99711974	0.34487092	0.00288026
	6000.00	0.63751431	1.00000000	0.36248569	0.00000000
	6300.00	0.62008835	0.99711974	0.37991165	0.00288026
	6600.00	0.60286498	1.00000000	0.39713502	0.00000000
	6900.00	0.58585702	0.99711974	0.41414298	0.00288026
	7200.00	0.56907634	1.00000000	0.43092366	0.00000000
	7500.00	0.55253385	0.99711974	0.44746615	0.00288026
	7800.00	0.53623959	1.00000000	0.46376041	0.00000000
	8100.00	0.52020267	0.99711974	0.47979733	0.00288026
	8400.00	0.50443136	1.00000000	0.49556864	0.00000000
	8700.00	0.48893306	0.99711974	0.51106694	0.00288026
	9000.00	0.47371437	1.00000000	0.52628563	0.00000000



Instante Inicial: .00
Instante Final: 9000.00
Período: 31.00

Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturbina_-
Horário: 10:20
Data: dezembro 8, 2006

Nome	Tempo	Confiabilidade	Disponibilidade	Inconfiabilidade	Indisponibilidade
Falha no sistema de vedação do eixo	.00	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
	300.00	0.98303400	0.99431238	0.01696600	0.00568762
	600.00	0.96635585	1.00000000	0.03364415	0.00000000
	900.00	0.94996066	0.99431238	0.05003934	0.00568762
	1200.00	0.93384363	1.00000000	0.06615637	0.00000000
	1500.00	0.91800005	0.99431238	0.08199995	0.00568762
	1800.00	0.90242526	1.00000000	0.09757474	0.00000000
	2100.00	0.88711472	0.99431238	0.11288528	0.00568762
	2400.00	0.87206393	1.00000000	0.12793607	0.00000000
	2700.00	0.85726850	0.99431238	0.14273150	0.00568762
	3000.00	0.84272409	1.00000000	0.15727591	0.00000000
	3300.00	0.82842643	0.99431238	0.17157357	0.00568762
	3600.00	0.81437135	1.00000000	0.18562865	0.00000000
	3900.00	0.80055473	0.99431238	0.19944527	0.00568762
	4200.00	0.78697252	1.00000000	0.21302748	0.00000000
	4500.00	0.77362075	0.99431238	0.22637925	0.00568762
	4800.00	0.76049550	1.00000000	0.23950450	0.00000000
	5100.00	0.74759294	0.99431238	0.25240706	0.00568762
	5400.00	0.73490928	1.00000000	0.26509072	0.00000000
	5700.00	0.72244081	0.99431238	0.27755919	0.00568762
	6000.00	0.71018389	1.00000000	0.28981611	0.00000000
	6300.00	0.69813491	0.99431238	0.30186509	0.00568762
	6600.00	0.68629035	1.00000000	0.31370965	0.00000000
	6900.00	0.67464676	0.99431238	0.32535324	0.00568762
	7200.00	0.66320070	1.00000000	0.33679930	0.00000000
	7500.00	0.65194884	0.99431238	0.34805116	0.00568762
	7800.00	0.64088788	1.00000000	0.35911212	0.00000000
	8100.00	0.63001458	0.99431238	0.36998542	0.00568762
	8400.00	0.61932575	1.00000000	0.38067425	0.00000000
	8700.00	0.60881827	0.99431238	0.39118173	0.00568762
	9000.00	0.59848907	1.00000000	0.40151093	0.00000000



Instante Inicial: .00
Instante Final: 9000.00
Período: 31.00

Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturbina_-
Horário: 10:20
Data: dezembro 8, 2006

Nome	Tempo	Confiabilidade	Disponibilidade	Inconfiabilidade	Indisponibilidade
Falha na sistema do distribuidor	.00	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
	300.00	0.99945502	1.00000000	0.00054498	0.00000000
	600.00	0.99784374	1.00000000	0.00215626	0.00000000
	900.00	0.99520292	1.00000000	0.00479708	0.00000000
	1200.00	0.99157090	1.00000000	0.00842910	0.00000000
	1500.00	0.98698729	1.00000000	0.01301271	0.00000000
	1800.00	0.98149279	1.00000000	0.01850721	0.00000000
	2100.00	0.97512892	1.00000000	0.02487108	0.00000000
	2400.00	0.96793784	1.00000000	0.03206216	0.00000000
	2700.00	0.95996212	1.00000000	0.04003788	0.00000000
	3000.00	0.95124457	1.00000000	0.04875543	0.00000000
	3300.00	0.94182806	1.00000000	0.05817194	0.00000000
	3600.00	0.93175536	1.00000000	0.06824464	0.00000000
	3900.00	0.92106899	1.00000000	0.07893101	0.00000000
	4200.00	0.90981104	1.00000000	0.09018896	0.00000000
	4500.00	0.89802312	1.00000000	0.10197688	0.00000000
	4800.00	0.88574616	1.00000000	0.11425384	0.00000000
	5100.00	0.87302038	1.00000000	0.12697962	0.00000000
	5400.00	0.85988514	1.00000000	0.14011486	0.00000000
	5700.00	0.84637886	1.00000000	0.15362114	0.00000000
	6000.00	0.83253901	1.00000000	0.16746099	0.00000000
	6300.00	0.81840194	1.00000000	0.18159806	0.00000000
	6600.00	0.80400293	1.00000000	0.19599707	0.00000000
	6900.00	0.78937606	1.00000000	0.21062394	0.00000000
	7200.00	0.77455422	1.00000000	0.22544578	0.00000000
	7500.00	0.75956908	1.00000000	0.24043092	0.00000000
	7800.00	0.74445103	1.00000000	0.25554897	0.00000000
	8100.00	0.72922918	1.00000000	0.27077082	0.00000000
	8400.00	0.71393138	1.00000000	0.28606862	0.00000000
	8700.00	0.69858417	1.00000000	0.30141583	0.00000000
	9000.00	0.68321280	1.00000000	0.31678720	0.00000000



Instante Inicial: .00
Instante Final: 9000.00
Período: 31.00

Nome do Arquivo: BalbinaUGH01Sistemadaturbina_-
Horário: 10:20
Data: dezembro 8, 2006

Nome	Tempo	Confiabilidade	Disponibilidade	Inconfiabilidade	Indisponibilidade
Falha no sistema de estabilização	.00	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
	300.00	0.99148071	1.00000000	0.00851929	0.00000000
	600.00	0.98303400	1.00000000	0.01696600	0.00000000
	900.00	0.97465925	1.00000000	0.02534075	0.00000000
	1200.00	0.96635585	1.00000000	0.03364415	0.00000000
	1500.00	0.95812319	1.00000000	0.04187681	0.00000000
	1800.00	0.94996066	1.00000000	0.05003934	0.00000000
	2100.00	0.94186768	1.00000000	0.05813232	0.00000000
	2400.00	0.93384363	1.00000000	0.06615637	0.00000000
	2700.00	0.92588795	1.00000000	0.07411205	0.00000000
	3000.00	0.91800005	1.00000000	0.08199995	0.00000000
	3300.00	0.91017934	1.00000000	0.08982066	0.00000000
	3600.00	0.90242526	1.00000000	0.09757474	0.00000000
	3900.00	0.89473724	1.00000000	0.10526276	0.00000000
	4200.00	0.88711472	1.00000000	0.11288528	0.00000000
	4500.00	0.87955713	1.00000000	0.12044287	0.00000000
	4800.00	0.87206393	1.00000000	0.12793607	0.00000000
	5100.00	0.86463457	1.00000000	0.13536543	0.00000000
	5400.00	0.85726850	1.00000000	0.14273150	0.00000000
	5700.00	0.84996518	1.00000000	0.15003482	0.00000000
	6000.00	0.84272409	1.00000000	0.15727591	0.00000000
	6300.00	0.83554468	1.00000000	0.16445532	0.00000000
	6600.00	0.82842643	1.00000000	0.17157357	0.00000000
	6900.00	0.82136883	1.00000000	0.17863117	0.00000000
	7200.00	0.81437135	1.00000000	0.18562865	0.00000000
	7500.00	0.80743349	1.00000000	0.19256651	0.00000000
	7800.00	0.80055473	1.00000000	0.19944527	0.00000000
	8100.00	0.79373458	1.00000000	0.20626542	0.00000000
	8400.00	0.78697252	1.00000000	0.21302748	0.00000000
	8700.00	0.78026808	1.00000000	0.21973192	0.00000000
	9000.00	0.77362075	1.00000000	0.22637925	0.00000000

ANEXO VII

PLANO DE MANUTENÇÃO DA UHE DE BALBINA

INSPEÇÕES E CONTROLE

ITEM	O QUE FAZER?
	ANUAL
01	MANCAL DE GUIA
1.1	VERIFICAR ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES
1.2	LIMPEZA NAS TUBULAÇÕES, MOTOBOMBAS, FILTROS DE ÓLEO, ETC...
1.3	INSPECIONAR TODOS OS INSTRUMENTOS
1.4	VERIFICAR NÍVEL DE ÓLEO
1.5	EFETUAR LIMPEZA NOS DEMARRADORES
02	MANCAL DE ESCORA
2.1	LUBRIFICAÇÃO DOS MANCAIS DAS MOTOBOMBAS
2.2	VERIFICAR ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES
2.3	LIMPEZA NAS TUBULAÇÕES, MOTOBOMBAS, FILTROS DE ÓLEO, ETC...
2.4	INSPECIONAR TODOS OS INSTRUMENTOS
2.5	VERIFICAR NÍVEL DE ÓLEO
2.6	EFETUAR LIMPEZA NOS DEMARRADORES
03	SISTEMA DE RESFRIAMENTO DOS MANCAIS
3.1	LUBRIFICAÇÃO DAS HASTES DAS VÁLVULAS;
3.2	VERIFICAR ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES
3.3	EFETUAR LIMPEZA NAS TUBULAÇÕES, MOTOBOMBAS, TROCADORES DE CALOR, ETC...
3.4	INSPECIONAR TODOS OS INSTRUMENTOS
	05 ANOS
04	MANCAL DE ESCORA
4.1	VERIFICAR O ESTADO DE LIMPEZA E PINTURA DAS TUBULAÇÕES DE CIRCULAÇÃO DE ÓLEO E INJEÇÃO
4.2	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES E VÁLVULAS DE CIRCULAÇÃO E INJEÇÃO
4.3	VERIFICAR O ESTADO DE FUNCIONABILIDADE DOS INSTRUMENTOS DE PRESSÃO, VAZÃO, TEMPERATURA E NÍVEL.
4.4	FILTRAR O ÓLEO DE CIRCULAÇÃO
4.5	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DOS TROCADORES DE CALOR
4.6	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DOS SELOS MECÂNICOS DAS MOTOBOMBAS AI/AJ
4.7	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DAS MOTOBOMBAS AG/AH
4.8	INSPECIONAR OS ELEMENTOS FILTRANTES DE CIRCULAÇÃO E INJEÇÃO
4.9	LUBRIFICAR O ACOPLAMENTO DAS MOTOBOMBAS AI/AJ
4.10	LIMPEZA DOS PAINÉIS
4.11	ESTADO GERAL DOS CONTADORES DE FORÇA
4.12	REAPERTAR BORNES E CONEXÕES
05	MANCAL GUIA DA TURBINA
5.1	FILTRAR ÓLEO DA CUBA
5.2	VERIFICAR ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES
5.3	INSPECIONAR TODOS OS INSTRUMENTOS
5.4	VERIFICAR NÍVEL DE ÓLEO
5.6	EFETUAR LIMPEZA NOS DEMARRADORES
06	VEDAÇÃO DO EIXO
6.1	ESTADO GERAL DA PISTA DE DESGASTE
6.2	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DE ESTANQUEIDADE DA JUNTA INFLAVEL
6.3	VERIFICAR O ESTADO GERAL DO PORTA- JUNTA, CARTER SUPORTE, LABIRINTO QUANTO A CORROSÃO
6.4	VERIFICAR O ESTADO GERAL DAS TUBULAÇÕES QUANTO A INCRUSTAÇÃO.
6.5	INSPEÇÃO DO FILTRO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO(CESTA,CORPO E VALVULAS)
07	DISTRIBUIDOR
7.1	6.1.1.2 VERIFICAR ESTADO DAS PALHETAS QUANTO CORROSÃO
7.2	6.1.1.3 VERIFICAR OCORRENCIA DE CAVITAÇÃO NAS PALHETAS

7.3	VERIFICAR O POSICIONAMENTO E TRAVAS DOS PINOS DE CISALHAMENTO
7.4	CONFERIR TORQUE DAS PORCAS DO PARAFUSO DE SUSTENTAÇÃO DAS PALHETAS
7.5	ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO DAS BIELAS E MANIVELAS
7.6	VERIFICAR A EXISTÊNCIA DE CORROSÃO E O ESTADO DE PINTURA DO ANEL DE SINCRONISMO
7.7	VERIFICAR O ESTADO DE CONSERVAÇÃO E LIMPEZA DAS CHAVES FIM DE CURSO DE DISTRIBUIDOR ABERTO E FECHADO-GAS
7.8	VERIFICAR O ESTADO DE CONSERVAÇÃO E LIMPEZA DAS CHAVES FIM DE CURSO DE PINO DE CISALHAMENTO
7.9	LEVANTAR AS FOLGAS DAS PALHETAS DIRETRIZES
08	SERVOMOTORES DO DISTRIBUIDOR
8.1	A ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES.
8.2	O ESTADO GERAL DE LIMPEZA E PINTURA DAS TUBULAÇÕES.
8.3	O ESTADO GERAL DE LIMPEZA E PINTURA DOS SERVOMOTORES E GARFOS DE ARTICULAÇÃO.
8.4	A ESTANQUEIDADE ENTRE CÂMARAS
8.5	A ESTANQUEIDADE DO SERVOMOTOR
8.6	A EXISTÊNCIA DE ARRANHÕES, TRINCAS E EMPENAMENTO DAS HASTES DOS SERVOMOTORES
8.7	O ESTADO DO DIAFRAGMA DAS CÂMARAS DE ABERTURA DOS SERVOMOTORES
8.8	O ESTADO DO DIAFRAGMA DAS CÂMARAS DE FECHAMENTO DOS SERVOMOTORES
8.9	O ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS TRAVAS MECÂNICAS MANUAIS
8.10	VERIFICAR A FIXAÇÃO DA HASTE DE REALIMENTAÇÃO DOS SERVOMOTORES (315)
8.11	6.1.1.4 VERIFICAR A FIXAÇÃO DO VARIÔMETRO (EC) QUE INDICA A POSIÇÃO DE ABERTURA DO DISTRIBUIDOR
8.12	VERIFICAR A FIXAÇÃO ENTRE OS SERVOMOTORES E AS ALAVANCAS DO SISTEMA
09	TAMPAS DA TURBINA
9.1	6.1.1.5 VERIFICAR O ESTADO GERAL QUANTO CORROSÃO
9.2	6.1.1.6 VERIFICAR ESTADO GERAL DE PINTURA
9.3	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DE ESTANQUEIDADE
9.4	INSPECIONAR AS BOMBAS DE DRENAGEM, TUBULAÇÕES, INSTRUMENTOS, VÁLVULAS
10	EIXO
10.1	VERIFICAR O ESTADO GERAL QUANTO CORROSÃO
10.2	FIXAÇÃO DO SENSOR DE SOBREVELOCIDADE 331
10.3	O ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO PISTÃO DA VÁLVULA 332
10.4	ESTANQUEIDADE DA TUBULAÇÃO DE SOBREVELOCIDADE
10.5	INSPECIONAR AO ESCOVA DE ATERRAMENTO
12	RODA DA TURBINA
12.1	VERIFICAR OCORRÊNCIA DE TRINCAS E CAVITAÇÃO NAS PÁS
12.2	EFETUAR MEDIDA DE FOLGA DA RODA COM PARTES FIXAS
12.3	6.1.1.7 VERIFICAR O ESTADO GERAL QUANTO CORROSÃO
12.4	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DE ESTANQUEIDADE
13	ESTABILIZAÇÃO
13.1	6.1.1.8 VERIFICAR O ESTADO GERAL QUANTO CORROSÃO
13.2	6.1.1.9 VERIFICAR ESTADO GERAL DE PINTURA
13.3	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DE ESTANQUEIDADE
13.4	6.1.1.10 CONFERIR O AJUSTE DAS MOLAS DAS VÁLVULAS DE AERAÇÃO
13.5	VERIFICAR O ESTADO GERAL DA BOIA DA VÁLVULA DE AERAÇÃO
13.6	VERIFICAR A VEDAÇÃO DE EMERGÊNCIA
13.7	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES E VÁLVULAS DO AR DE INJEÇÃO-GA
13.8	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DO SOLENÓIDE DO AR DE INJEÇÃO-GA
	10 ANOS
14	MANCAL DE ESCORA
14.1	VERIFICAR O ESTADO DE LIMPEZA E PINTURA DAS TUBULAÇÕES DE CIRCULAÇÃO DE ÓLEO E INJEÇÃO
14.2	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES E VÁLVULAS DE CIRCULAÇÃO E INJEÇÃO
14.3	VERIFICAR O ESTADO DE FUNCIONABILIDADE DOS INSTRUMENTOS DE PRESSÃO, VAZÃO, TEMPERATURA E NÍVEL.
14.4	VERIFICAR O ESTADO DO METAL PATENTE DAS SAPATAS DE ESCORA E PATINS
14.5	VERIFICAR O ESTADO DO BLOCO DE ESCORA
14.6	VERIFICAR A FIXAÇÃO E O ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS MANGUEIRAS DE INJEÇÃO
14.7	ENSAIAR AS PROTEÇÕES DE TEMPERATURA E NÍVEL DO MANCAL
14.8	VERIFICAR O ESTADO DAS MEMBRANAS TOROIDAIS
14.9	AJUSTAR A FOLGA DOS PATINS
14.10	FILTRAR O ÓLEO DE CIRCULAÇÃO
14.11	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DOS TROCADORES DE CALOR
14.12	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DOS SELOS MECÂNICOS DAS MOTOBOMBAS AI/AJ
14.13	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DAS MOTOBOMBAS AG/AH
14.14	INSPECIONAR OS ELEMENTOS FILTRANTES DE CIRCULAÇÃO E INJEÇÃO

14.15	LUBRIFICAR O ACOPLAMENTO DAS MOTOBOMBAS AI/AJ
14.16	LIMPEZA DOS PAINÉIS
14.17	ESTADO GERAL DOS COTADORES DE FORÇA
14.18	REAPERTAR BORNES E CONEXÕES
15	MANCAL GUIA DA TURBINA
15.1	INSPECIONAR O ESTADO DO METAL PATENTE
15.2	VERIFICAR O ESTADO GERAL DO CÂRTER SUPORTE QUANTO A CORROSÃO E O ESTADO DE PINTURA
15.3	VERIFICAR O ESTADO DE PINTURA DA CUBA GIRATÓRIA
15.4	FILTRAR O ÓLEO DA CUBA
16	VEDAÇÃO DO EIXO
16.1	ESTADO GERAL DOS CARVÕES
16.2	ESTADO GERAL DA PISTA DE DESGASTE
16.3	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DE ESTANQUEIDADE DA JUNTA INFLAVEL
16.4	VERIFICAR O ESTADO GERAL DO PORTA- JUNTA, CARTER SUPORTE, LABIRINTO QUANTO A CORROSÃO
16.5	VERIFICAR O ESTADO GERAL DAS TUBULAÇÕES QUANTO A INCRUSTAÇÃO.
17	DISTRIBUIDOR
17.1	6.1.1.11 VERIFICAR ESTADO DAS PALHETAS QUANTO CORROSÃO
17.2	6.1.1.12 VERIFICAR OCORRENCIA DE CAVITAÇÃO NAS PALHETAS
17.3	CONFERIR TORQUE DOS PINOS DE CISALHAMENTO
17.4	MEDIR O NÍVEL DE DESGASTE DOS MANCAIS DAS PALHETAS
17.5	CONFERIR TORQUE DA S PORCAS DO PARAFUSO DE SUSTENTAÇÃO DAS PALHETAS
17.6	ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO DAS BIELAS E MANIVELAS
17.7	MEDIR NÍVEL DE DESGASTE DOS MANCAIS DO ANEL DE SINCRONISMO
17.8	VERIFICAR A EXISTENCIA DE CORROSÃO E O ESTADO DE PINTURA DO ANEL DE SINCRONISMO
17.9	VERIFICAR O ESTADO DE CONSERVAÇÃO E LIMPEZA DAS CHAVES FIM DE CURSO
17.10	LEVANTAR AS FOLGAS DAS PALHETAS DIRETRIZES
18	SERVOMOTORES DO DISTRIBUIDOR
18.1	A ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES.
18.2	O ESTADO DE GERAL DE LIMPEZA E PINTURA DAS TUBULAÇÕES.
18.3	O ESTADO GERAL DE LIMPEZA E PINTURA DOS SERVOMOTORES E GARFOS DE ARTICULAÇÃO.
18.4	A FIXAÇÃO DOS SERVOMOTORES À BLINDAGEM DO POÇO
18.5	A ESTANQUEIDADE ENTRE CÂMARAS
18.6	A ESTANQUEIDADE DO SERVOMOTOR
18.7	A EXISTÊNCIA DE ARRANHÕES, TRINCAS E EMPENAMENTO DAS HASTES DOS SERVOMOTORES
18.8	O DESGASTE DA BUCHA DA HASTE
18.9	O ESTADO DAS GAXETAS CHEVRON
18.10	O ESTADO DO ANEL RASPADOR
18.11	O ESTADO DO DIAFRÁGMA DA S CÂMARAS DE ABERTURA DOS SERVOMOTORES
18.12	O ESTADO DO DIAFRÁGMA DA S CÂMARAS DE FECHAMENTO DOS SERVOMOTORES
18.13	O ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS TAVAS MECÂNICAS MANUAIS
18.14	O ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS TRAVAS HIDRÁULICAS
18.15	A ESTANQUEIDADE DAS TRAVAS HIDRÁULICAS
18.16	VERIFICAR A FIXAÇÃO DO LIMITADOR DE ABERTURA MECÂNICA (LH) E (LJ)
18.17	VERIFICAR A FIXAÇÃO DA HASTE DE REALIMENTAÇÃO DOS SERVOMOTORES (315)
18.18	6.1.1.13 VERIFICAR A FIXAÇÃO DO VARIÔMETRO (EC) QUE INDICA A POSIÇÃO DE ABERTURA DO DISTRIBUIDOR
18.19	VERIFICAR A FIXAÇÃO ENTRE OS SERVOMOTORES E AS ALAVANCAS DO SISTEMA
18.20	6.1.1.14 VERIFICAR A FIXAÇÃO DOS CONTATOS DE FIM DE CURSO CC/CD DE INDICAÇÃO DE TRAVA APLICADA OU DESAPLICADA COM DISTRIBUIDOR FECHADO
18.21	VERIFICAR A FIXAÇÃO DO CONTATO FIM DE CURSO CB DE INDICAÇÃO DE TRAVA APLICADA OU DESAPLICADA COM DISTRIBUIDOR ABERTO
19	TAMPA DA TURBINA
19.1	6.1.1.15 VERIFICAR O ESTADO GERAL QUANTO CORROSÃO
19.2	6.1.1.16 VERIFICAR ESTADO GERAL DE PINTURA
19.3	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DE ESTANQUEIDADE
19.4	INPECIONAR AS BOMBAS DE DRENAGEM, TUBULAÇÕES, INSTRUMENTOS, VÁLVULAS
20	EIXO
20.1	VERIFICAR O ESTADO GERAL QUANTO CORROSÃO
20.2	FIXAÇÃO DO SENSOR DE SOBREVELOCIDADE 331
20.3	O ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO PISTÃO DA VÁLVULA 332
20.4	ESTANQUIEDADE DA TUBULAÇÃO DE SOBREVELOCIDADE
20.5	INSPECIONAR AO ESCOVA DE ATERRAMENTO
21	RODA DA TURBINA
21.1	VERIFICAR OCORRÊNCIA DE TRINCAS E CAVITAÇÃO NAS PÁS
21.2	EFETUAR MEDIDA DE FOLGA DA RODA COM PARTES FIXAS

21.3	6.1.1.17	VERIFICAR O ESTADO GERAL QUANTO CORROSÃO
22	ESTABILIZAÇÃO	
22.1	6.1.1.18	VERIFICAR O ESTADO GERAL QUANTO CORROSÃO
22.2	6.1.1.19	VERIFICAR ESTADO GERAL DE PINTURA
22.3	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DE ESTANQUEIDADE	
22.4	6.1.1.20	CONFERIR O AJUSTE DAS MOLAS DAS VÁLVULAS DE AERAÇÃO
22.5	VERIFICAR O ESTADO GERAL DA BOIA DA VÁLVULA DE AERAÇÃO	
22.7	VERIFICAR A ESTANQUEIDADE DAS TUBULAÇÕES E VÁLVULAS DO AR DE INJEÇÃO-GA	
22.8	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DO SOLENÓIDE DO AR DE INJEÇÃO-GA	
22.9	VERIFICAR A VEDAÇÃO DE EMERGÊNCIA	