



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS  
DE SERGIPE – FANESSE  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ALEXANDRE ENGBER ODILON**

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE: Estudo de Caso em  
uma Instalação da PETROBRÁS**

**Aracaju - Sergipe  
2009.1**

**ALEXANDRE ENGBER ODILON**

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE: Estudo de Caso em  
uma Instalação da PETROBRÁS**

**Monografia apresentada à Coordenação do  
Curso de Engenharia de Produção da  
Faculdade de Administração e Negócios de  
Sergipe – FANESE, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia  
de Produção.**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. MSc. Helenice Leite Garcia**

**Coordenador: Prof. Dr. Jerfferson Arlen Freitas**

**Aracaju - Sergipe  
2009.1**

Odilon, Alexandre Engber

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: Estudo de Caso em uma Instalação da PETROBRAS / Alexandre Engber Odilon. – 2009.

84f.: il.

Monografia (graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, 2005.

Orientação: MSc. Helenice Leite Garcia.

1. Confiabilidade 2. Manutenção 3. MCC

CDU 658.588.2

**ALEXANDRE ENGBER ODILON**

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE: Estudo de Caso em  
uma Instalação da PETROBRÁS**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração de Negócios de Sergipe – FANESE, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2009.1.

---

**Prof<sup>a</sup>. MSc. Helenice Leite Garcia**

---

**Prof. Esp. Josevaldo Santos Feitoza**

---

**Prof. Dr. Jefferson Arlen Freitas**

**Aprovado com média: 9,0**

**Aracaju (SE), 30 de Junho de 2009.**

**À minha família, principalmente aos meus pais, que há muito me ensinaram o valor dos estudos.**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus avós, por todo carinho;  
Aos meus pais, por me ensinarem a valorizar os estudos;  
Às minhas irmãs, por sempre poder contar com elas;  
À minha namorada, por sua sensibilidade e compreensão;  
Aos meus professores, por todo conhecimento transmitido;  
Aos meus colegas de trabalho, pela experiência compartilhada;  
Aos amigos verdadeiros, irmãos escolhidos, por nunca me apoiarem quando estou errado;  
A todos estes e mais aqueles que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Um agradecimento especial à gerência de manutenção e inspeção da PETROBRÁS, por disponibilizar todas as informações necessárias à elaboração desta monografia.

**“Os resultados provêm do aproveitamento das oportunidades e não da solução dos problemas. A solução de problemas só restaura a normalidade. As oportunidades significam explorar novos caminhos.”**

**(Peter Drucker)**

## **RESUMO**

**A manutenção centrada em confiabilidade é uma tecnologia contemporânea de manutenção, aplicada quando houver a necessidade de se manter a funcionalidade dos ativos físicos de produção ou a continuidade dos processos industriais. Neste presente trabalho, foi apresentado um estudo de caso da implantação desta metodologia, em uma instalação industrial da PETROBRÁS. Buscando-se avaliar a eficiência do processo, analisou-se, tanto o sistema de injeção de água de Oiterinhos, quanto às etapas transcorridas durante a implantação da MCC, juntamente com as ferramentas utilizadas pelo grupo de trabalho. Uma análise comparativa foi realizada, entre o plano existente e o gerado, na qual, identificaram-se diversos aspectos, alguns positivos outros controversos. Ao final, alguns pontos de melhoria foram sugeridos.**

**Palavras-chave: Confiabilidade. Manutenção. MCC.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva da banheira .....	26
Figura 2 – F.D.P. da distribuição de Weibull .....	28
Figura 3 – Função densidade acumulada de falhas da distribuição de Weibull	29
Figura 4 – Função confiabilidade da distribuição de Weibull .....	29
Figura 5 – Função de taxa de falhas da distribuição de Weibull.....	30
Figura 6 – A relação de $\beta$ e as fases da curva da banheira .....	31
Figura 7 – Função densidade de falhas da exponencial.....	32
Figura 8 – Função confiabilidade da exponencial.....	32
Figura 9 – Taxa de falha da exponencial .....	33
Figura 10 – Layout da estação de injeção de água de Oiterinhos .....	45
Figura 11 – Modularização do sistema de injeção de água de Oiterinhos .....	46
Figura 12 – Modularização do subsistema de controle e supervisão .....	47
Figura 13 – Modularização do subsistema de Instrumentação geral .....	48
Figura 14 – Modularização do subsistema das bombas.....	49
Figura 15 – Modularização do subsistema motores das bombas.....	50
Figura 16 – Modularização do subsistema de monitoração de temperatura .....	51
Figura 17 – Modularização do subsistema de tancagem.....	52
Figura 18 – Modularização do subsistema de Transferência de água produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de água de Oiterinhos.....	53
Figura 19 – Modularização do subsistema de ar comprimido.....	54
Figura 20 – Modularização do subsistema de utilidades elétricas .....	55
Figura 21 – Árvore de falhas desdobrada para o Gate 9.....	61
Figura 22 – Árvore de falhas do subsistema de tancagem (dados do grupo de trabalho).....	75
Figura 23 – Árvore de falhas do subsistema de tancagem (OREDA). .....	75
Figura 24 – Árvore de falhas do subsistema de utilidades elétricas (dados do grupo de trabalho).....	76
Figura 25 – Árvore de falhas do subsistema de utilidades elétricas (OREDA)..	77
Figura 26 – Árvore de falhas do subsistema de monitoração da temperatura (dados do grupo de trabalho).....	78
Figura 27 – Árvore de falhas do subsistema de monitoração da temperatura (OREDA).....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição de Weibull .....	27
Tabela 2 – Casos especiais da distribuição de Weibull .....	28
Tabela 3 – Bombas da estação de injeção de águas de Oiterinhos .....	44
Tabela 4 – Distribuição das falhas por subsistema .....	57
Tabela 5 – Distribuição das tarefas de manutenção .....	59
Tabela 6 – Taxa de falhas remota, improvável, provável e freqüente.....	62
Tabela 7 – Taxa de falha do subsistema de controle e supervisão .....	62
Tabela 8 – Subsistema de Instrumentação geral da Estação de Injeção de Água de Carmópolis .....	63
Tabela 9 – Subsistema das bombas .....	63
Tabela 10 – Subsistema Motores das Bombas.....	63
Tabela 11 – Subsistema de Monitoração de Temperatura.....	63
Tabela 12 – Subsistema de Tancagem .....	63
Tabela 13 – Subsistema de Transferência de Água Produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de Água de Carmópolis.....	64
Tabela 14 – Subsistema de Ar Comprimido.....	64
Tabela 15 – Subsistema de utilidades Elétricas .....	64
Tabela 16 – Taxa de falha do subsistema de controle e supervisão .....	65
Tabela 17 – Subsistema de Instrumentação geral da Estação de Injeção de Água de Carmópolis .....	65
Tabela 18 – Subsistema das bombas .....	65
Tabela 19 – Subsistema Motores das Bombas.....	66
Tabela 20 – Subsistema de Monitoração de Temperatura.....	66
Tabela 21 – Subsistema de Tancagem .....	66
Tabela 22 – Subsistema de Transferência de Água Produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de Água de Carmópolis.....	66
Tabela 23 – Subsistema de Ar Comprimido.....	66
Tabela 24 – Subsistema de utilidades Elétricas .....	67
Tabela 25 – Resultados para um tempo de 600h (Dados: grupo trabalho) .....	70
Tabela 26 – Resultados para um tempo de 600h (Dados: OREDA) .....	71
Tabela 27 – MTTF comparação dos resultados obtidos – subsistema de tancagem.....	73
Tabela 28 – MTTF comparação dos resultados obtidos – subsistema de utilidades elétricas .....	74
Tabela 29 – MTTF comparação dos resultados obtidos – subsistema de monitoração de temperatura .....	74

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Confiabilidade do sistema (R), para um tempo de 600h, com dados do grupo trabalho.....	68
Gráfico 2 – Probabilidade de falha do sistema (F), para um tempo de 600h, com dados do grupo trabalho .....	68
Gráfico 3 – Confiabilidade do sistema (R), para um tempo de 600h, com dados de OREDA .....	69
Gráfico 4 – Probabilidade de falha do sistema (F), para um tempo de 600h, com dados de OREDA.....	70

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 – Comportamento da função de taxa de falhas .....</b>	<b>30</b>
<b>Quadro 2 – Plano de manutenção gerado (parcial).....</b>	<b>58</b>
<b>Quadro 3 – Estudo comparativo entre o plano gerado e o existente .....</b>	<b>59</b>

## SUMÁRIO

RESUMO.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE GRÁFICOS.....	9
LISTA DE QUADROS.....	10
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 Justificativa.....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Manutenção.....	16
2.1.1 História da manutenção.....	17
2.1.2 Conceitos principais da manutenção.....	17
2.1.2.1 Manutenção eficiente e manutenção eficaz.....	17
2.1.2.2 Custo de manutenção.....	18
2.1.3 Tipos de manutenção.....	18
2.1.3.1 manutenção corretiva.....	19
2.1.3.2 manutenção preventiva.....	20
2.1.3.3 manutenção preditiva.....	21
2.1.3.4 manutenção detectiva.....	21
2.1.3.5 engenharia de manutenção.....	21
2.2 Confiabilidade.....	21
2.2.1 História da confiabilidade.....	23
2.2.2 Ferramentas da confiabilidade.....	23
2.2.3 Definições e nomenclaturas da confiabilidade.....	24
2.2.4 Curva da banheira.....	25
2.2.5 Distribuição de Weibull.....	26
2.2.6 Distribuição exponencial.....	31
2.2.7 Análise por árvore de falhas.....	35
2.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	36
2.4 Processo de Injeção de Água.....	37
2.4.1 Águas de injeção.....	38
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>41</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
4.1 Estudo de Caso.....	42
4.2 Injeção de Água em Carmópolis.....	42
4.3 Descrição do Sistema de Injeção de Água de Oiterinhos.....	43
4.4 Descrição dos subsistemas.....	44
4.4.1 Subsistema de controle e supervisão.....	47
4.4.2 Subsistema de Instrumentação geral da Estação de Injeção de Água de Carmópolis.....	48
4.4.3 Subsistema das bombas.....	49
4.4.4 Subsistema motores das bombas.....	50

4.4.5 Subsistema de Monitoração de Temperatura .....	51
4.4.6 Subsistema de Tancagem .....	52
4.4.7 Subsistema de Transferência de água produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de água de Oiterinhos.....	53
4.4.8 Subsistema de Ar Comprimido .....	54
4.4.9 Subsistema de Utilidades Elétricas .....	55
4.4.9 Subsistema de Utilidades Elétricas .....	55
4.5 Processo de implantação da MCC.....	55
4.5.1 Etapa I.....	55
4.5.2 Etapa II.....	56
4.5.3 Etapa III.....	57
4.5.4 Etapa IV .....	58
4.5.5 Etapa V .....	58
4.6 Estudo de Confiabilidade .....	60
4.6.1 Dados de entrada .....	62
4.6.2 Resultados das análises.....	67
4.7 Considerações Sobre o Estudo de Caso .....	71
5 CONCLUSÃO .....	82
REFERÊNCIAS.....	83

## 1 INTRODUÇÃO

Oriunda da indústria aeronáutica norte americana, esta metodologia passou por intenso processo evolutivo e conceitual, constituindo-se hoje de um versátil conjunto de ferramentas e técnicas, que podem ser aplicados aos mais diversos setores da economia, inclusive o terciário e o de serviços.

Durante a segunda guerra mundial, surgiram novas técnicas que viabilizaram a mecanização das indústrias. Inicialmente, entretanto, os equipamentos eram simples e super dimensionados, o que minimizava o surgimento de defeitos, conseqüentemente reduzindo a necessidade de reparos. Neste período, a atividade de manutenção era basicamente corretiva.

Após esta guerra, surgiram as linhas de produção contínuas e os produtos passaram a ser produzidos em massa. Os custos com a manutenção tornaram-se crescentes, principalmente devido à complexidade das máquinas que exigiam uma mão de obra mais especializada e, conseqüentemente, mais cara. Somava-se a isso, ainda, as perdas por lucros cessantes, decorrentes das paradas de produção. Neste contexto, segundo Siqueira (2005, p. 5), surgem novas técnicas, como a manutenção preventiva e a preditiva.

Com o aumento do consumo dos produtos industrializados, as empresas passaram a produzir em larga escala, neste momento, surgem as grandes multinacionais, tornando a concorrência um fato mundial. Buscando aumentar a qualidade de seus produtos, as empresas automatizaram seus processos, aumentando consideravelmente seu grau de complexidade, tornando ineficientes as técnicas de manutenção até então existentes. Surgem, portanto, novos conceitos como confiabilidade, disponibilidade e vida útil, e que mais tarde seriam utilizados para o desenvolvimento das técnicas de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

Com o desenvolvimento da indústria aeronáutica, tornou-se necessário o surgimento de novas técnicas de manutenção, que pudessem garantir a operacionalidade das aeronaves dentro de padrões aceitáveis de confiabilidade. De

acordo com Siqueira (2005, p. 6), a MCC é fruto do esforço da indústria aeronáutica americana em apresentar novas técnicas de manutenção que pudessem atender as exigências da FAA (Federal Aviation Authority - entidade certificadora governamental norte americana), durante o processo de certificação do Boeing 747 para vôos comerciais nos Estados Unidos.

De sua criação até então, a MCC não se restringiu apenas ao setor aeronáutico, sendo utilizada hoje em diversos seguimentos da indústria, constituindo-se em uma verdadeira revolução na forma de se planejar manutenção, seja de equipamentos estáticos, dinâmicos, instrumentação, elétricos, eletrônicos, dentre outros, tamanha a sua versatilidade.

Atualmente, o enfoque principal da manutenção deixou de ser a mera prevenção da falha. Busca-se hoje, primeiramente, garantir a continuidade operacional do equipamento ou do sistema em questão, assegurando que o mesmo cumpra sua função conforme projetado.

Com o surgimento da MCC, passou-se a reconhecer nas empresas que a manutenção de um equipamento ou sistema só deverá ser efetuada se a mesma for tecnicamente viável e garantir uma redução considerável da probabilidade de falha.

Com a utilização da MCC, as empresas passaram a analisar os modos de falhas de seus equipamentos de forma muito mais criteriosa, considerando apenas aqueles que poderão levar um equipamento ou sistema a uma indisponibilidade. Estes modos de falhas, identificados como críticos, passaram a ser avaliados juntamente com suas respectivas causas, permitindo assim, que ações mais eficazes e custo-eficientes, pudessem ser praticadas, otimizando, portanto, o processo de manutenção como um todo, reduzindo consideravelmente a ocorrência de falhas e preservando a funcionalidade dos sistemas.

A otimização do plano de manutenção incorre na minimização das intervenções corretivas, reduzindo, desta forma, os custos. Isto ocorre devido a um gerenciamento mais racional dos recursos disponíveis, direcionando-os objetivamente para combater aqueles modos de falha identificados como sendo mais críticos.

A adoção da MCC por uma empresa eleva o seu conhecimento referente às funções dos seus ativos, melhorando a precisão de suas ações de manutenção e garantindo a continuidade operacional. Entretanto, devido à complexidade dos sistemas industriais e à dinâmica dos processos existentes, uma análise de MCC

nunca se apresentará completa, com soluções definitivas. Dessa forma, a MCC é, portanto, uma metodologia que deverá ser constantemente continuada e revisada.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Avaliar a eficiência do processo de implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade no Sistema de Injeção de Água da Estação de Oiteirinhos, em Carmópolis-SE.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Caracterizar o Sistema de Injeção de Água de Oiteirinhos, identificando e analisando todos os subsistemas a ele associados.

Analisar o processo de implantação da metodologia de MCC na empresa, identificando as etapas e as ferramentas utilizadas.

Realizar uma análise comparativa entre os resultados obtidos, após a implantação da MCC, e os dados históricos da manutenção.

## **1.2 Justificativa**

A garantia da continuidade operacional é função estratégica para a maioria das grandes empresas. Um planejamento eficiente da manutenção, que minimize os custos e o tempo de parada de produção, é fundamental, promovendo com isso um aumento de competitividade da instituição.

Através da aplicação das técnicas de MCC é possível se identificar quais os elementos críticos em um sistema industrial. Tal informação possibilita que os recursos da manutenção sejam direcionados de forma mais precisa e eficiente, portanto, evitando desperdícios e reduzindo custos.

As conseqüências de uma falha operacional podem ser catastróficas, trazendo consigo muitas vezes danos materiais, ambientais e perda de vidas humanas. A adoção das técnicas de MCC por uma empresa, torna-a mais eficiente em seu planejamento de manutenção, otimiza os recursos disponíveis e aumenta a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, melhorando seu desempenho e aumentando sua competitividade.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A seguir serão apresentados alguns conceitos básicos, porém necessários à compreensão do processo de implantação da manutenção centrada em confiabilidade em um dado sistema. Será mostrado, de forma sucinta, o conceito de manutenção, a sua evolução histórica e a atual importância da manutenção como função estratégica para as organizações. Além destes, serão apresentadas, também, a evolução dos conceitos de confiabilidade e as circunstâncias históricas que levaram a manutenção a utilizá-los, surgindo, portanto, a MCC.

Para um melhor entendimento, serão apresentados, também, alguns conceitos de probabilidade, aplicados a esta metodologia.

Esta análise será desenvolvida para um sistema referente ao processo de injeção de água e, portanto, serão apresentados conceitos e métodos inerentes a este processo.

### **2.1 Manutenção**

Com o crescimento da complexidade das instalações industriais, a manutenção vem assumindo uma posição estratégica dentro das organizações. Não apenas pela simples preservação dos equipamentos ou garantia da continuidade operacional, mas evitando inclusive que acidentes ocorram. Atualmente, devido a uma maior conscientização dos consumidores, as empresas vêm sendo cobradas no sentido de preservar o meio ambiente. Neste contexto, a manutenção tem contribuído significativamente, pois, ao aumentar a confiabilidade dos equipamentos e processos, evita-se que agressões ao meio ambiente, provenientes de falhas em equipamentos, ocorram.

Segundo Kardec e Lafraia (2002, p. 23), a missão na manutenção é: "Garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações e de modo a atender a um processo de produção ou serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados."

Garantir o aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos e sistemas que compõe uma instalação industrial, contribuindo com a redução dos

custos, do número de acidentes, ajudando na preservação do meio ambiente e cumprimento de metas operacionais. Todas as características contribuem significativamente para o aumento da competitividade empresarial, fazendo, portanto, da manutenção, uma função estratégica dentro da empresa.

### **2.1.1 História da manutenção**

Segundo Pinto e Xavier (2001, p. 3 a 5), a história da manutenção se divide em três gerações distintas, conforme descrição a seguir:

- a. **A primeira geração da manutenção** ocorre antes da segunda guerra mundial. Nesse período os equipamentos eram artesanais e simples, e os mesmos eram ainda sobre dimensionados para as condições de operação. A manutenção o era basicamente corretiva.
- b. **A segunda geração da manutenção** ocorre após a segunda guerra mundial e segue até a década de 60. Esta é marcada por intensa mecanização e aumento da complexidade das instalações industriais. Busca-se neste período por uma maior disponibilidade e confiabilidade, visando o aumento da produtividade. Surge, neste período, o conceito de manutenção preventiva.
- c. **A terceira geração da manutenção** ocorre a partir da década de 70 em diante. Esta é marcada por uma competitividade acirrada entre as indústrias, com a adoção de novas filosofias de trabalho, com estoques reduzidos e prazos apertados. A paralisação da produção passou a afetar de forma crítica os custos industriais, aumentando consideravelmente a importância da manutenção. Neste período, destaca-se a manutenção preditiva.

### **2.1.2 Conceitos principais da manutenção**

#### **2.1.2.1 Manutenção eficiente e manutenção eficaz**

A atividade de uma manutenção precisa ser eficiente e eficaz ao mesmo tempo. A mera correção da falha e o retorno do equipamento, o quanto antes, à condição de operação é importante, mas este conceito é bastante simplista. "Na visão atual, a Manutenção existe para que não haja a manutenção [...] o trabalho da manutenção está sendo enobrecido onde, cada vez mais, o pessoal da área precisa estar qualificado e equipado para evitar falhas e não para corrigi-las." (PINTO E XAVIER, 2001, p. 10). Manter a continuidade operacional e a funcionalidade dos

equipamentos, evitando paradas de produção não planejada, é que deve ser o objetivo da manutenção. Desta forma, sendo eficiente e eficaz, atinge-se a otimização dentro da organização.

A manutenção precisa mensurar a sua contribuição para o atingimento das metas da empresa, quantificando o quanto suas atividades influenciam no faturamento empresa, na segurança das instalações, na segurança das pessoas e na preservação ambiental. Estes dados devem ser do conhecimento de todos os envolvidos nas atividades do setor.

A conscientização da equipe torna a manutenção mais ativa e atuante, não apenas empenhada na rápida correção das falhas, e sim empenhada em evitar que estas ocorram.

### **2.1.2.2 Custo de manutenção**

A maioria das empresas busca, cada vez mais, reduzir os custos de manutenção. Isto ocorre em quase todas as empresas brasileiras e internacionais. O elevado custo de manutenção não é compatível com a atual competitividade globalizada.

Segundo Viana (2002, p. 145-146) até 1993 os custos de manutenção eram compostos, principalmente, por gastos com pessoal, material e contratação de serviços externos. Com o surgimento do conceito de manutenção classe mundial, a depreciação e a perda de faturamento também passaram a ser consideradas.

O custo de manutenção, também segundo Viana (2006, p. 18), compõe-se dos custos de recursos humanos, com material, de interferência na produção e de perdas no processo produtivo. Estes custos equivalem em média, a 4,39% do faturamento bruto anual das empresas, segundo Gurski (2002, p. 8). Constata-se, portanto, que os custos da manutenção influenciam diretamente no faturamento e, portanto, no lucro de uma organização. Sendo assim, um programa de redução dos custos da manutenção pode contribuir para o aumento da lucratividade de uma empresa.

### **2.1.3 Tipos de manutenção**

De acordo com Pinto e Xavier (2001, p. 26), são definidos atualmente seis tipos básicos de manutenção, quais sejam, manutenção corretiva planejada,

manutenção corretiva não planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção.

### **2. 1.3.1 manutenção corretiva**

A manutenção corretiva busca, basicamente, reparar o equipamento, retornando-o à condição operacional, "[...] é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado." (PINTO E XAVIER, 2001, p. 36). Esta manutenção pode ser planejada ou não planejada.

É importante distinguir bem os resultados da Manutenção Corretiva Planejada da Não Planejada. Enquanto na Planejada a perda de produção é reduzida ou mesmo eliminada, além de que o tempo de reparo e o custo são minimizados, na Manutenção Não Planejada ocorre justamente o oposto. (PINTO E XAVIER, 2001, p. 26).

A manutenção corretiva, de acordo com Viana (2002), pode ser do tipo planejada ou não planejada.

#### **a) manutenção corretiva não planejada**

A manutenção corretiva não planejada caracteriza-se pela atuação da manutenção em um fato já ocorrido, quando o equipamento pára de produzir, sem uma definição gerencial, não havendo tempo para o planejamento do serviço. Segundo Pinto e Xavier (2001, p. 37), a "Manutenção corretiva Não planejada é a correção da FALHA de maneira ALEATÓRIA."

Este tipo de manutenção é caracterizado por perdas na produção e um elevado tempo para reparar. Isso ocorre devido à imprevisibilidade da falha, não permitindo que haja um planejamento prévio para sua realização. Além disso, pode-se dizer que este tipo de manutenção é a correção das falhas aleatórias.

Na manutenção não planejada, a perda de produção aumenta e o tempo de reparo e o custo são maximizados, devido principalmente à falta de planejamento. A quebra ou parada inesperada de um equipamento ou de um sistema acarreta perdas de produção, redução da qualidade do produto e aumento dos custos indiretos de manutenção.

Quebras aleatórias podem ter conseqüências graves para equipamentos e sistemas. Além disso, podem interromper o funcionamento de um equipamento de forma abrupta provocando sérias conseqüências à operação, e representando um risco à integridade das pessoas, instalações e meio ambiente.

### **b) manutenção corretiva planejada**

A manutenção deve ser organizada de tal maneira que o equipamento pare de produzir somente de forma planejada. Segundo Pinto e Xavier (2001, p. 38), a "Manutenção Corretiva Planejada é a correção do desempenho menor que o esperado ou da falha, por DECISÃO GERENCIAL, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra.". Desta forma, reduzem-se as perdas de produção e o tempo de reparo, minimizando-se, portanto, os custos.

A manutenção corretiva planejada busca compatibilizar a necessidade de intervenção no equipamento, com os interesses da empresa em garantir uma continuidade operacional de suas instalações. O planejamento prévio garante a disponibilidade de peças, ferramentas e pessoal qualificado, além de proporcionar uma melhor distribuição dos serviços.

Segundo Siqueira (2005), este tipo de manutenção é caracterizado por uma menor perda de produção associada a um menor tempo para reparar. Devido a um melhor planejamento, os recursos necessários à manutenção são previamente disponibilizados, evitando imprevistos e, conseqüentemente, reduzindo custos.

#### **2.1.3.2 manutenção preventiva**

Segundo Pinto e Xavier (2001, p. 39), a manutenção preventiva busca minimizar ou evitar as falhas ou redução de desempenho de um equipamento ou sistema industrial, de acordo com um plano previamente elaborado, baseado em intervenções com intervalos definidos de tempo.

De acordo com Siqueira (2005), a manutenção preventiva deve ser realizada quando não é possível a realização de manutenção preditiva, quando estão envolvidas questões de segurança pessoal, operacional e ambiental, quando houver oportunidade, no caso de equipamentos críticos de difícil liberação, para sistemas complexos e de operação contínua.

De acordo com dados da ABRAMAN (Documento Nacional 2007), estima-se que cerca de um terço dos recursos destinados a este tipo de manutenção sejam desperdiçados. Faz-se necessário, portanto, que haja uma criteriosa avaliação de custo-benefício, antes que se opte por sua adoção.

### **2.1.3.3 manutenção preditiva**

De acordo com Pinto e Xavier (2001, p. 41), a manutenção preditiva, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática, é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro, seja na condição de operação ou no desempenho.

Este tipo de manutenção tem o objetivo, prevenir a falha do equipamento através do acompanhamento de diversos parâmetros observáveis. Desta forma, é possível um equipamento operar pelo maior tempo possível, devido ao acompanhamento técnico dedicado. Quando a degradação do equipamento atingir a um nível pré-determinado, é tomada a decisão de intervenção, e uma manutenção corretiva planejada será agendada.

### **2.1.3.4 manutenção detectiva**

A manutenção detectiva caracteriza-se por atuar especificamente em sistemas de proteção. Segundo Pinto e Xavier (2001, p. 44), o principal objetivo dessa manutenção é detectar falhas ocultas nestes sistemas, difíceis de serem visualizadas pelo pessoal da operação ou da manutenção.

Os sistemas de proteção são projetados para atuar, automaticamente, quando ocorrer desvios operacionais. Falhas nestes sistemas trazem consigo sérias conseqüências, e podem ocorrer de duas maneiras: falha de atuação ou atuação indevida. Sendo que, em ambos os casos, perdas materiais e aumento dos custos operacionais e de manutenção.

### **2.1.3.5 engenharia de manutenção**

Segundo Pinto e Xavier (2001, p. 46), a engenharia de manutenção representa uma mudança cultural nas empresas, pois, com ela, deixa-se de ficar consertando continuamente para procurar as causas básicas dos problemas, busca-se, portanto, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixando de se conviver com problemas crônicos, melhorando padrões e sistemáticas, dando feedback aos projetos, interferindo tecnicamente nas compras e, conseqüentemente, desenvolvendo a manutenibilidade na empresa.

## **2.2 Confiabilidade**

A confiabilidade muitas vezes é classificada como sendo a qualidade dos equipamentos perpetuada ao longo do tempo. O homem busca, através de novos

materiais e novas técnicas de engenharia, produzir equipamentos e produtos que venham a proporcionar conforto. Tais equipamentos trazem consigo a expectativa de um desempenho esperado.

De acordo com Siqueira (2005), a confiabilidade é a probabilidade de que um componente ou sistema, funcionando dentro dos limites especificados de projeto, possa desempenhar suas funções sem falhar, durante um determinado período de tempo estabelecido para a sua utilização, e dentro das condições de agressividade existentes no meio.

Do ponto de vista de Lafraia (2001, p. 2), confiabilidade é a probabilidade de que um componente ou sistema, funcionando dentro dos limites especificados de projeto, não falhe durante o período de tempo previsto para a sua vida, isto, dentro das condições de agressividade ao meio. Portanto um equipamento é considerado confiável, quando é capaz de exercer as funções para o qual foi projetado, dentro de condições preestabelecidas, por um determinado período de tempo estimado.

Ressalta-se, portanto, que confiabilidade é uma função diretamente relacionada ao tempo de operação do equipamento. Portanto, quanto maior o tempo de utilização do equipamento, menor a confiabilidade.

Sistemas complexos e estratégicos exigem alta confiabilidade para atuar. Por exemplo, aeronaves para transporte de passageiros, a rede elétrica de transmissão, usinas nucleares, sistemas de serviços hospitalares, dentre outros. Segundo Bergamo Filho (1997), uma maneira de se aumentar o índice de confiabilidade em um sistema complexo é utilizar-se de redundâncias. Entretanto, este mesmo autor também afirma, que devido aos altos custos envolvidos e a extrema complexidade dos sistemas existentes, nem sempre este artifício poderá ser empregado.

De acordo com Lafraia (2001, p. 235), a confiabilidade do equipamento é quase inteiramente uma função da qualidade do programa de manutenção, tendo, portanto, pouca significância a confiabilidade fornecida pelo fabricante.

Normalmente, não se busca que o equipamento dure para sempre, mas que desempenhe seu papel dentro de certos parâmetros e por determinado período de tempo preestabelecido, atendendo a uma necessidade ou expectativas esperada.

Parâmetros de confiabilidade e devem ponderar os custos envolvidos e materiais utilizados, além das dificuldades técnicas existentes. O nível de confiabilidade requerida deve ser o de melhor custo-eficiência.

Em uma indústria, a confiabilidade é a garantia da continuidade operacional de seus equipamentos ou sistemas, pelo período de campanha.

### **2.2.1 História da confiabilidade**

Após a primeira guerra mundial, surge a indústria aeronáutica. A partir daí foram criadas as primeiras técnicas de análise da confiabilidade. Na década de 40 surgem diversas teorias matemáticas relacionadas ao problema. Nesta época, surgem as primeiras técnicas de manutenção preventiva com o intuito de aumentar a confiabilidade de um equipamento.

Na década de 50 diversos avanços tecnológicos se desenvolveram, como por exemplo, o surgimento da indústria aeroespacial, nuclear, microeletrônica, dentre outras. Neste período, a confiabilidade passou a ter mais importância, principalmente a partir do projeto e desenvolvimento de novos produtos.

Na década de 60, surge o conceito de árvore de falhas, ferramenta poderosa utilizada pela confiabilidade para determinar a causa raiz de um problema. Nesta época aparecem os primeiros sistemas computacionais.

Na década de 70 os sistemas computacionais se consolidam principalmente na indústria nuclear. Neste momento surgem os primeiros modelos para a análise de confiabilidade e sistemas computacionais (softwares).

Atualmente, a confiabilidade apresenta um vasto campo de atuação, não estando amarrada apenas a uma utilização específica. Sistemas de comunicação, nucleares, aviários, os industriais, computacionais, dentre outros. Não havendo restrição para a sua utilização, sendo buscada por projetistas e construtores de todos os tipos de sistemas.

### **2.2.2 Ferramentas da confiabilidade**

Para a implantação da confiabilidade em uma empresa, é necessária a utilização de diversas ferramentas. A FMEA, por exemplo, é utilizada para analisar os modos de falhas e analisar os efeitos. Outra ferramenta é a FMECA, utilizada para se analisar os modos de falhas, os seus efeitos e a sua criticidade. O Diagrama de decisão da MCC é uma ferramenta, que utiliza informações de projeto, engenharia e conhecimento operacional do equipamento, para a tomada de decisões. A inspeção de equipamentos emprega técnicas de monitoração para avaliar as condições operacionais dos equipamentos. A análise de riscos é utilizada

para verificar a frequência de uma falha, bem como sua consequência e impacto sobre a segurança, meio ambiente e continuidade operacional.

"A melhor maneira de avaliar o processo da confiabilidade de um conjunto de equipamentos é definir indicadores que representem o que se quer medir e calcular periodicamente esses indicadores." (AFFONSO, 2006, p.30).

### **2.2.3 Definições e nomenclaturas da confiabilidade**

A seguir serão apresentadas algumas nomenclaturas, usualmente utilizadas em confiabilidade, em conformidade com a NBR 5462 (ABNT, 2004), juntamente com suas respectivas definições.

- a. Confiabilidade  $R(t)$ : probabilidade de um sistema, subsistema ou componente desempenhar com sucesso suas funções específicas, durante um período de tempo, dentro de condições normais de utilização e operação.
- b. Inconfiabilidade  $F(t)$ : probabilidade de um sistema, subsistema ou componente não desempenhar com sucesso suas funções específicas, durante um período de tempo, dentro de condições normais de utilização e operação.
- c. Falha: cessação da habilidade de um elemento desempenhar a função requerida.
- d. Taxa de Falhas  $\lambda(t)$ : relação entre o número de falhas que ocorrem em um componente, equipamento ou sistema e o tempo de operação.
- e. Taxa de Reparo  $\mu(t)$ : relação entre o número de reparos que ocorrem em um componente, equipamento ou sistema e o tempo de reparo.
- f. Disponibilidade  $A(t)$ : capacidade de um componente estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.
- g. Indisponibilidade  $Q(t)$ : probabilidade de um item não ser capaz de desempenhar uma função requerida sob dadas condições, em um dado instante, supondo-se que os recursos externos tenham sido providos.
- h. Manutenibilidade: probabilidade de que um reparo em particular possa ser efetuado em um período determinado.
- i. Tempo médio até falhar (MTTF – Mean Time To Failure): utilizado para produtos irreparáveis. Considera o tempo médio até a falha do mesmo. Pode ser

empregado também para representar o tempo médio até a primeira falha de um produto reparável.

- j. Tempo Médio para Reparar (MTTR – Mean Time To Repair): é a média dos tempos de reparo calculada a partir da distribuição de probabilidade que os seus tempos de reparo seguem.
- k. Tempo médio entre falhas (MTBF – Mean Time Between Failures): é o tempo médio entre falhas sucessivas de um produto irreparável.
- l. Taxa de falhas: é a quantidade de ocorrências de falhas pelo tempo. Exprime indiretamente, e de forma quantificada, a confiabilidade de um componente. Quanto maior a confiabilidade de um sistema menor será a sua taxa de falhas.

#### **2.2.4 Curva da banheira**

A confiabilidade de um sistema é calculada através da taxa de falha, representada genericamente por  $\lambda(t)$ . O comportamento da curva representativa da taxa de falha em função do tempo, de um dado sistema, assemelha-se muito a uma banheira, de modo que é tradicionalmente denominada de curva da banheira.

A curva da banheira é a curva e se espera obter quando se trabalhar com sistemas complexos. A maioria dos equipamentos industriais apresenta em seu gráfico de falhas, uma curva com estas características. Esta curva está dividida em três regiões distintas, pois possui três comportamentos bem característicos.

"A curva da banheira apresenta, de maneira geral, as fases da vida de um componente. Embora ela seja apresentada como genérica, a curva da banheira só é válida para componentes individuais." (LAFRAIA, 2001, p. 15).

A Figura 1 mostra a curva da banheira com suas respectivas divisões em três regiões distintas. Apresenta, também, as três curvas básicas que a compõe, referentes aos três tipos básicos de falha existentes: prematuras, randômicas e por desgaste.

A curva global, representada na cor azul, é a curva de falha resultante (curva da banheira), e representa a evolução da taxa de falhas ao longo da vida do componente.

A região I da curva corresponde à fase de mortalidade infantil. Essa região é caracterizada por uma alta taxa de falhas, decorrentes principalmente de falhas oriundas do processo de fabricação. Além disso, representa a situação em que

protótipos de componentes estão sendo testados e ajustados à medida que falham, é a fase de ajuste de um produto recém lançado.

A região II da curva corresponde à fase de vida útil e é caracterizada pela constância no número de falhas no decorrer do tempo. Esta é a fase operacional dos equipamentos, caracterizada por falhas do tipo aleatórias, decorrentes de agentes externos. Esta região é conhecida, também, como período de falhas aleatórias.

A região III da curva corresponde à fase de velhice e é caracterizada por um aumento da taxa de falhas, decorrentes principalmente do desgaste do componente (corrosão, fadiga, abrasão, etc.).

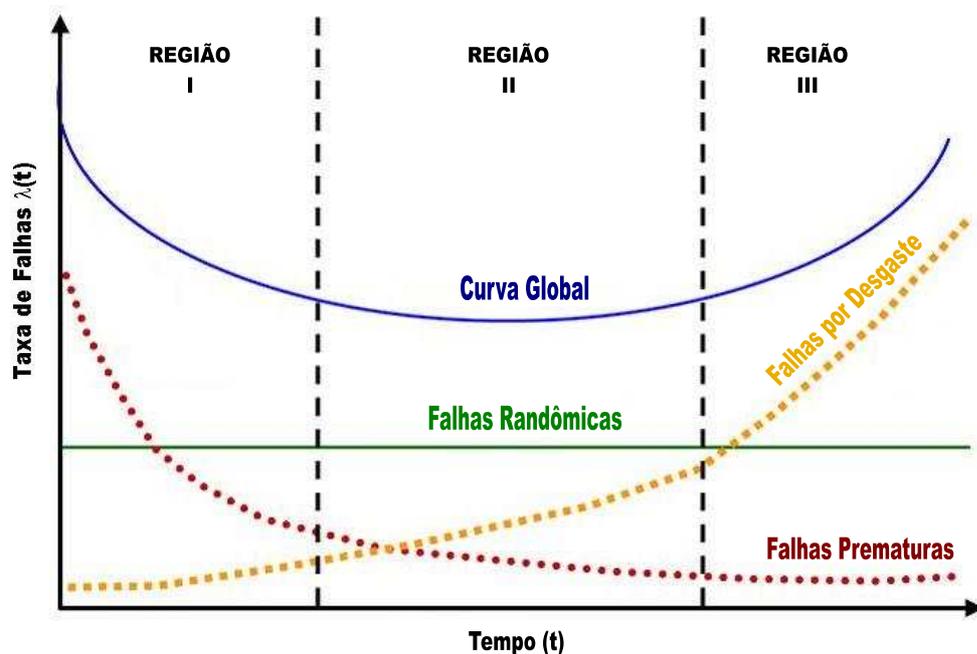


Figura 1 – Curva da banheira  
Fonte: Adaptado de Lafraia (2001)

Nem todos os sistemas complexos apresentam em sua curva de taxa de falhas as características da curva da banheira. Componentes eletrônicos, por exemplo, costumam falhar de forma abrupta, sem qualquer indicação ou aviso prévio.

### 2.2.5 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é uma distribuição de probabilidade contínua, usada em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas.

A Tabela 1 apresenta as diversas expressões associadas a esta distribuição, com significado dos seus parâmetros.

Tabela 1 – Distribuição de Weibull

<i>Significado</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Expressão</i>	
Distribuição de falhas	$f(t)$	$\frac{\beta}{\eta^\beta} (t-t_0)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] p/t \geq 0$	(23)
		$0 \quad p/t < 0$	
Probabilidade acumulada de falhas	$F(t)$	$1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]$	(24)
Confiabilidade	$C(t)$	$\exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]$	(25)
Taxa de falhas instantânea	$\lambda(t)$	$\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1}$	(26)
Parâmetro de escala	$\eta$		
Parâmetro de forma	$t_0$ ou $\gamma$		
Vida inicial	$t$		
Tempo para a falha			

Fonte: Lafraia (2001)

Valores particulares dos parâmetros da função de Weibull transformam as expressões originais em expressões de outras distribuições usualmente utilizadas para descrever os modos de falha, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Casos especiais da distribuição de Weibull

Significado	$t_0 = 0$	$t_0 = 0$ e $\beta = 0$
Distribuição de falhas	$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$	$f(t) = \frac{1}{\eta} \exp\left[-\frac{t}{\eta}\right]$ (27)
Probabilidade acumulada de falhas	$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$	$F(t) = 1 - \exp\left[-\frac{t}{\eta}\right]$ (28)
Confiabilidade	$C(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$	$C(t) = \exp\left[-\frac{t}{\eta}\right]$ (29)
Taxa de falhas	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$\lambda = \frac{1}{\eta}$ (30)
Tempo médio entre falhas		$TMEF = \frac{1}{\lambda}$ (31)
Observação		Conhecida como distribuição exponencial; $\lambda = \text{cte}$

Fonte: Lafraia (2001)

A Figura 2 representa a função distribuição de probabilidade da função de Weibull, com variações no parâmetro  $\beta$ .

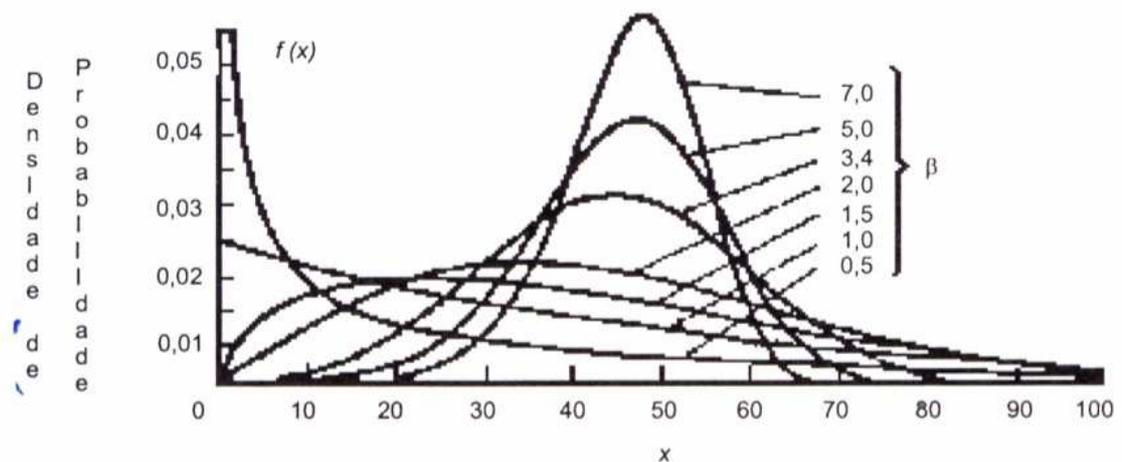


Figura 2 – F.D.P. da distribuição de Weibull  
Fonte: Lafraia (2001)

A Figura 3 representa a função densidade acumulada de falhas da função de Weibull, com variações no parâmetro  $\beta$ .

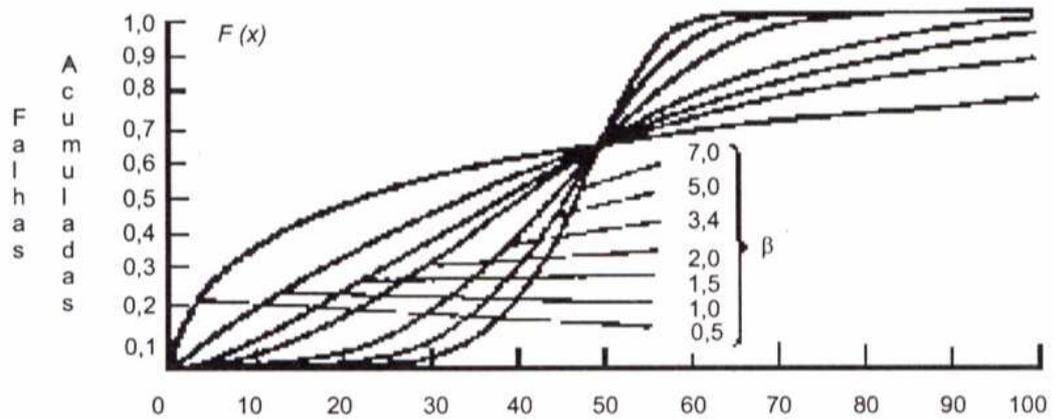


Figura 3 – Função densidade acumulada de falhas da distribuição de Weibull  
Fonte: Lafraia (2001)

A Figura 4 representa a função confiabilidade da distribuição de Weibull, com variações no parâmetro  $\beta$ .

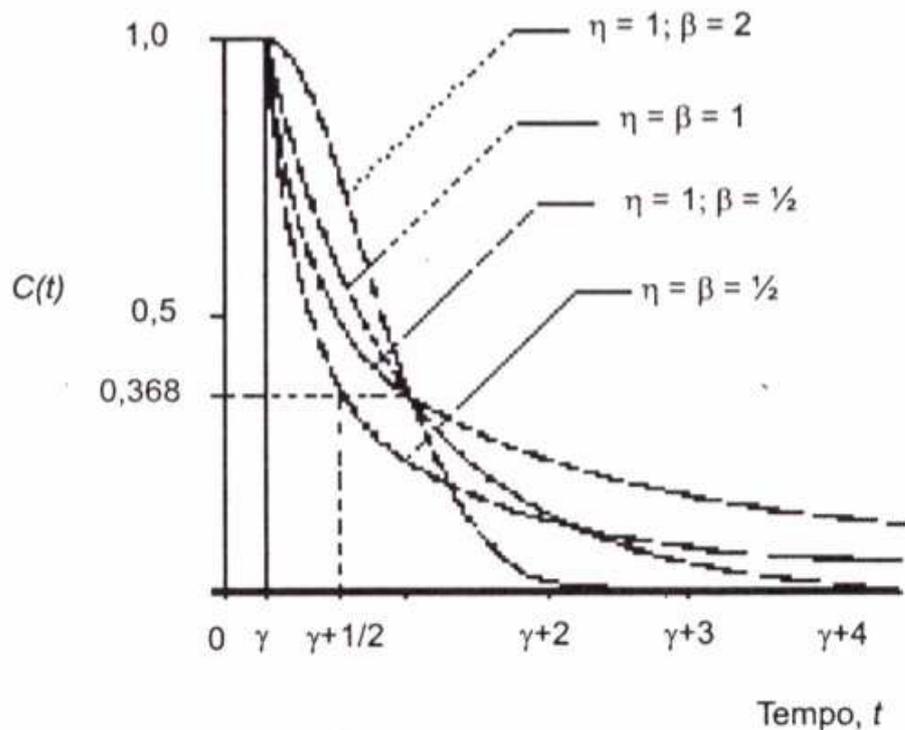


Figura 4 – Função confiabilidade da distribuição de Weibull  
Fonte: Lafraia (2001)

A Figura 5 representa a função taxa de falhas da função de Weibull, com variações no parâmetro  $\beta$ .

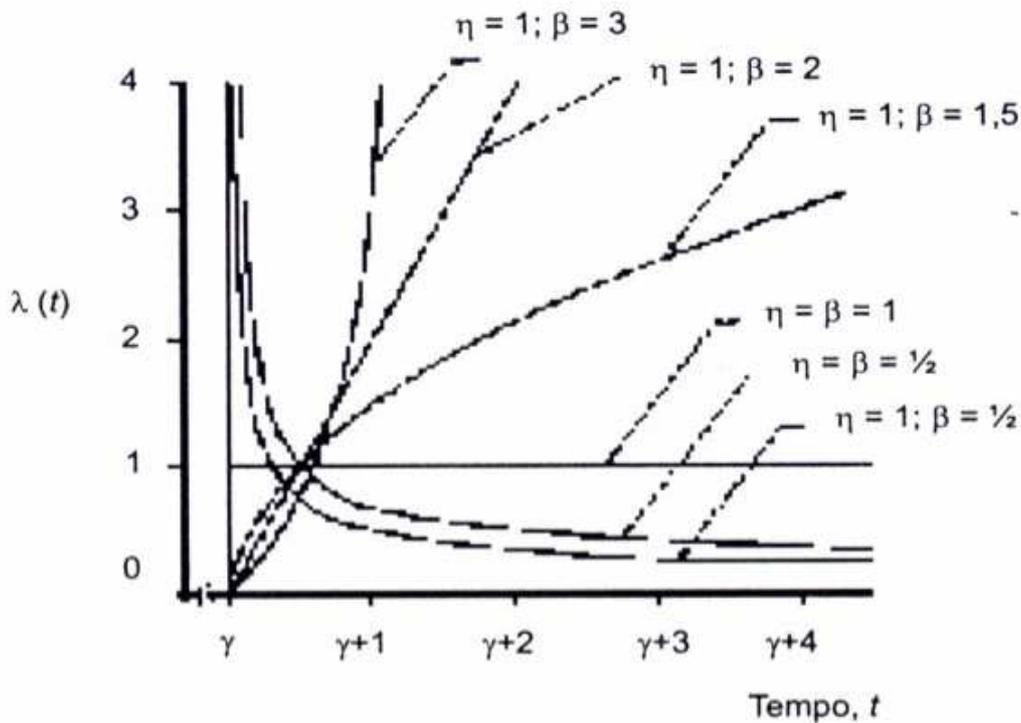


Figura 5 – Função de taxa de falhas da distribuição de Weibull  
Fonte: Lafraia (2001)

#### Casos especiais de $\beta$

O Quadro 1 apresenta o comportamento da função de taxa de falhas de acordo com a variação do valor de  $\beta$ .

Quadro 1 – Comportamento da função de taxa de falhas

$\beta$	Comportamento da Função de Taxa de Falhas
$< 1$	Taxa de falha crescente com o tempo – fase de mortalidade infantil
$= 1$	Taxa de falha constante – falhas aleatórias – função exponencial
$> 1$	Taxa de falha crescente com o tempo
$= 2$	Taxa de falha linearmente crescente
$> 2$	Taxa de falha cresce a uma taxa proporcional à potência $(-1)$ ; distribuição de frequência tornando-se mais simétrica à medida que $\beta$ cresce
$= 3,2$	Distribuição de frequência aproxima-se da distribuição normal, tornando-se menos dispersa à medida que $\beta$ cresce

Fonte: Lafraia (2001)

A Figura 6 apresenta a relação entre os valores de  $\beta$  e as fases da curva da banheira.

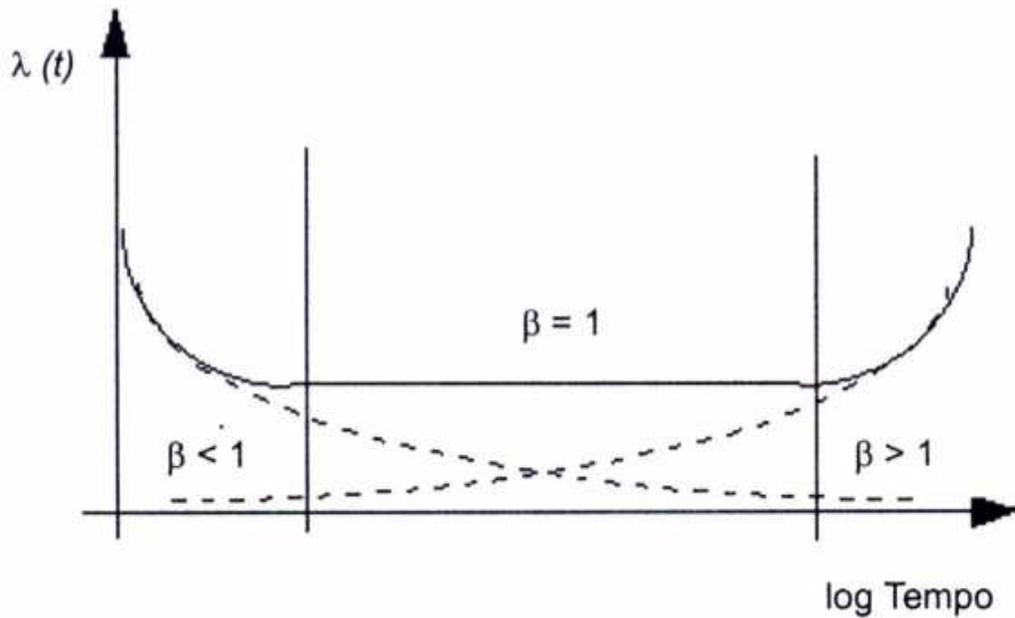


Figura 6 – A relação de  $\beta$  e as fases da curva da banheira  
 Fonte: Lafraia (2001)

Para o presente estudo, utilizou-se  $\beta=1$ , pois, o sistema de injeção de água de Oiterinhos é caracterizado por falhas do tipo aleatórias, e apresenta taxa de falhas constante. Encontra-se, portanto, na Região II da curva da banheira, Figura 1, conhecida como período de vida útil. Para  $\beta=1$ , segundo Montgomery e Runger (2003, p. 95), a função de Weibull torna-se idêntica a função exponencial.

### 2.2.6 Distribuição exponencial

A função exponencial descreve sistemas com taxa de falhas constante. Sua função distribuição de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} a \exp(-ax) & p / x \geq 0 \\ 0 & p / x < 0 \end{cases}$$

Para “t” como variável independente,  $\lambda$  é denominado de taxa de falhas. Para um componente que está no seu período de vida útil (Região II da curva da banheira – Figura 1), a densidade de falha ( $f(t)$ ), é expressa pela seguinte equação:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{(-\lambda t)} \quad (32)$$

Esta função apresenta um perfil exponencial, conforme apresentado na Figura 7.

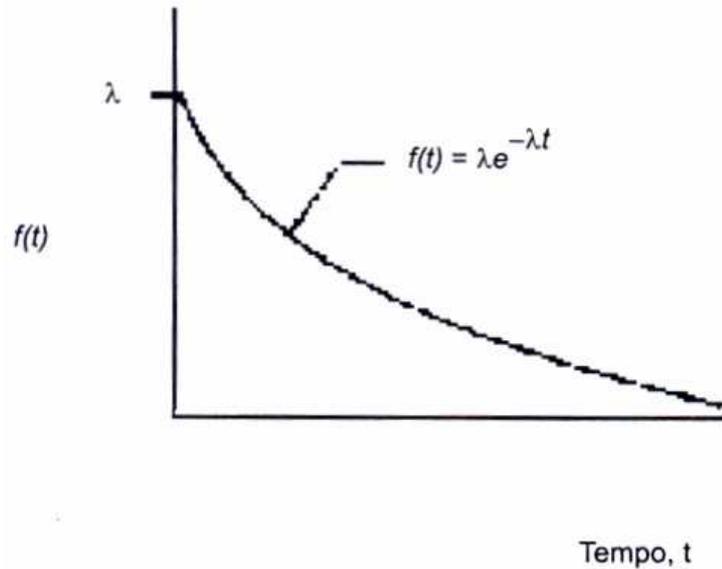


Figura 7 – Função densidade de falhas da exponencial  
Fonte: Lafraia (2001)

A confiabilidade ( $R(t)$ ) é a probabilidade de um sistema, subsistema ou componente, desempenhar com sucesso suas funções específicas, durante um período de tempo, dentro de condições normais de utilização e operação. É representada pela seguinte equação:

$$R(t) = e^{(-\lambda t)} \quad (33)$$

Esta função apresenta-se representada na Figura 8.

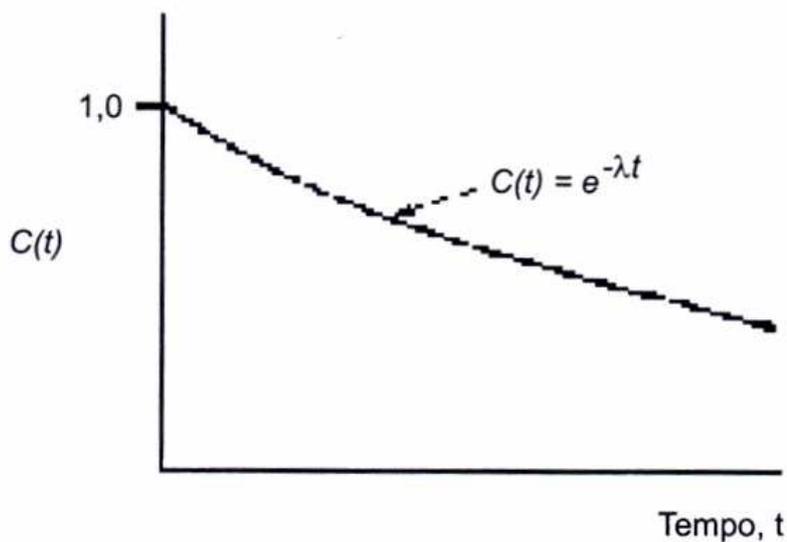


Figura 8 – Função confiabilidade da exponencial  
Fonte: Lafraia (2001)

A taxa de falhas, que exprime a confiabilidade de um componente, é representada por  $\lambda$ , e apresenta valor constante no decorrer do tempo. Os tempos de falha seguem uma distribuição exponencial, de modo a formar uma reta, conforme representado na Figura 9.

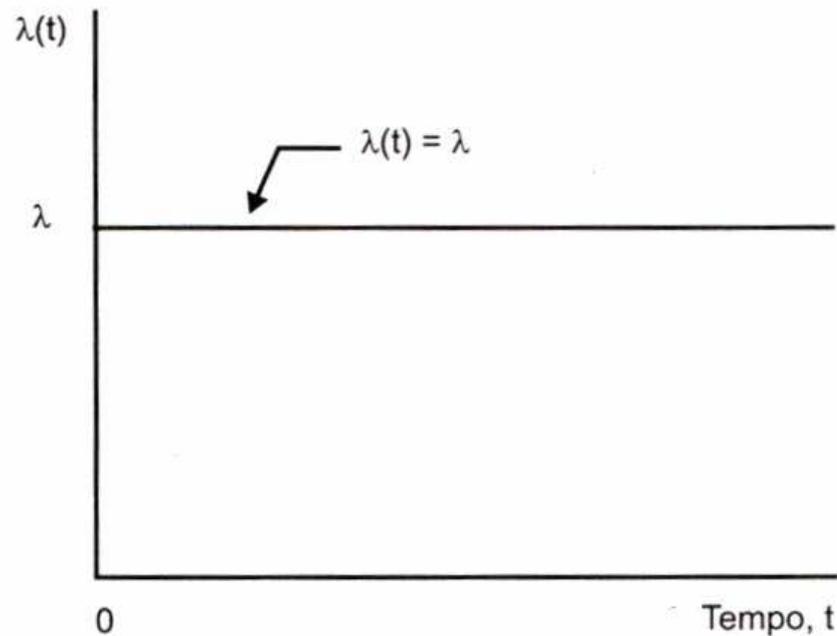


Figura 9 – Taxa de falha da exponencial  
Fonte: Lafraia (2001)

Inconfiabilidade ( $F(t)$ ) é a probabilidade de um sistema, subsistema ou componente não desempenhar com sucesso suas funções específicas, durante um período de tempo, dentro de condições normais de utilização e operação (Equação 34).

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (34)$$

Dada a natureza probabilística,  $R(t) = 1 - F(t)$ , e vice-versa.

MTTF (Mean Time To Failure) é o tempo médio para falhar. É a média dos tempos de falha calculada a partir da distribuição de probabilidade que os seus tempos de falha seguem. Essa média é representada pela Equação 35.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (35)$$

MTTR (Mean Time To Repair) é o tempo médio para reparar. É a média dos tempos de reparo calculada a partir da distribuição de probabilidade que os seus tempos de reparo seguem (Equação 36).

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (36)$$

Sendo  $\mu$  a taxa de reparos, sendo o seu valor constante para cada equipamento ou componente.

Indisponibilidade ( $Q(t)$ ) é a probabilidade de um item não ser capaz de desempenhar uma função requerida sob dadas condições, em um dado instante, supondo-se que os recursos externos tenham sido providos. Esta probabilidade é representada através da Equação 37.

$$Q(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left[ 1 - e^{-(\lambda + \mu)t} \right] \quad (37)$$

A freqüência de falha em função da indisponibilidade ( $\omega(t)$ ) é determinada pela Equação 38.

$$\omega(t) = \lambda(1 - Q(t)) \quad (38)$$

Sendo:

$Q(t)$  - Indisponibilidade do componente.

$\omega(t)$  - Freqüência de falha do componente.

$\lambda(t)$  - Taxa de falha do componente (constante). Relação entre o número de falhas que ocorrem em um componente, equipamento ou sistema e o tempo de operação.

$\mu(t)$  - Taxa de reparo do componente (constante). Relação entre o número de reparos que ocorrem em um componente, equipamento ou sistema e o tempo de reparo.

### 2.2.7 Análise por árvore de falhas

A análise por árvore de falhas é uma técnica na qual os eventos interagem entre si para produzir outros eventos. A interação é feita através de portões lógico simples (e, ou), agrupados de forma estruturada representando o comportamento do sistema considerado.

O objetivo da Análise de Árvore de Falhas é a obtenção, através de um Diagrama lógico do conjunto mínimo de causas (falhas) que levaram ao evento em estudo. Além disto, é possível se obter a probabilidade da ocorrência do evento indesejado. (LAFRAIA, 2001, p. 123).

Na árvore de falhas busca-se analisar o evento topo, que é o evento principal, todos demais eventos contribuem para sua ocorrência.

A árvore de falhas é uma metodologia que identifica e encadeia de forma lógica os diversos eventos que devem acontecer para que um determinado modo de falha ocorra. Essa metodologia é representada em forma de Diagrama e para a sua montagem são utilizados operadores lógicos simples, os quais servem para encadear as relações. Além disso, a árvore de falhas é utilizada também para avaliar a confiabilidade e a segurança de sistemas complexos, sendo que nesses casos é necessário que se tenha um profundo conhecimento do sistema que está sendo analisado, do seu funcionamento e dos seus diversos modos de falhas.

Através de diagramas de funções do sistema, detalham-se as interações entre os componentes da árvore de falhas, e através do FMEA passa-se a ter um maior entendimento dos modos de falhas. Esta metodologia simplifica a análise das falhas e facilita o entendimento das características técnicas dos equipamentos, além de integrar as equipes de projeto, operação e que manutenção. Para sua elaboração é necessária analisar profundamente todas as interfaces de interações e todos componentes do sistema através de uma equipe multidisciplinar de especialistas. Esta equipe deve avaliar o impacto na continuidade operacional do sistema. Isto também acarreta outro benefício, no caso de um novo projeto, pois, com um melhor entendimento do sistema, várias melhorias podem ser implementadas.

Na construção de uma árvore de falhas, o evento que está sendo estudado, que é a falha do sistema, é chamado de evento topo ou evento superior. Os demais eventos falha que podem, direta ou indiretamente, contribuir para a ocorrência do evento pouco, são identificados e ligados ao mesmo. Isto se faz por meio de funções coletivas lógicas, e desta forma a estrutura da árvore de falhas é

criada. Estes símbolos lógicos também são chamados de *gates*, e os mesmos possuem entradas e saídas. Nesta forma, a falha é dobrada até o momento em que ela não pode mais ser dividida ou até se atingir o limite pré-determinado para a análise de um sistema. Desta forma, chega-se até o evento básico ou esteticamente independente.

Estes eventos básicos são falhas de causa comum, que ocorrem por motivos que não podem ser previstos.

A construção da árvore de falhas se dá de modo decrescente em seu processo, tendo como base inicial o evento superior, que é o evento topo. Então, determina se os demais afetos intermediários, que contribuíram para que o evento topo ocorresse, e seus respectivos eventos básicos, caso existam.

### **2.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade**

Após a segunda guerra mundial, diversos processos tecnológicos se desenvolveram, a informática as telecomunicações aeronáutica são apenas alguns exemplos desses avanços, conforme afirmado por Siqueira (2005).

Ainda segundo Siqueira (2005), a sociedade moderna tornou-se a cada vez mais dependente dos produtos industriais, e os métodos automáticos de produção se estabeleceram. Em paralelo o mundo tornou-se mais consciente quanto às questões relativas à preservação ambiental. Tais exigências, aliadas a um aumento da competitividade entre as indústrias, fez com que a manutenção atingisse uma posição estratégica dentro das empresas. Desta forma, a manutenção não se restringe apenas a reparar equipamentos danificados retornando-os à operação. A manutenção hoje precisa trabalhar em conjunto com os objetivos da empresa, atuando de forma integrada com a operação garantida a continuidade do processo de produção. Para que se atingisse uma melhor eficiência, a manutenção passou a ser trabalhada de modo a aumentar a confiabilidade dos equipamentos e sistemas, garantindo a continuidade operacional. Desta forma, as ferramentas da confiabilidade foram agregadas à manutenção, fornecendo informações que servem de parâmetros para o planejamento dos serviços.

Nascida na indústria aeronáutica americana, os conceitos e técnicas da manutenção centrada na confiabilidade são aplicáveis, segundo Lafraia (2001), em qualquer sistema, independente da tecnologia, em que seja necessário manter a funcionalidade de processos ou ativos físicos. A MCC fornece um método

estruturado para selecionar quais atividades de manutenção que deverão ser utilizadas, indicando inclusive em quais partes do sistema produtivo estas devem ser aplicadas, promovendo com isso uma otimização da manutenção.

Para Lafraia (2001, p. 239), a aplicação da MCC resulta no decréscimo das atividades de manutenção preventiva e no custo. A redução nos custos de mão-de-obra e materiais é da ordem de 30% a 40%.

Entretanto, já de acordo com Siqueira (2005), o sucesso da implantação da manutenção centrada na confiabilidade depende não só da experiência prática de fundamentação teórica de seus processos, mas também de que os meios organizacionais e de planejamento utilizados sejam adequados.

Implantar a MCC em uma empresa representa uma decisão estratégica, devendo constar dos objetivos e metas estabelecidos no planejamento empresarial da organização. Desta decisão decorrerão mudanças profundas na cultura e métodos utilizados na manutenção, conforme seja a abrangência desejada. Para que seja efetiva, deve ser acompanhada pela definição de níveis compatíveis de organização e alocação de responsabilidades. (SIQUEIRA, 2005, p. 259-260).

## **2.4 Processo de Injeção de Água**

De acordo com Thomas (2004), o processo de injeção de água é uma das técnicas utilizadas para a recuperação de petróleo. Este processo consiste em deslocar o óleo existente no reservatório, através da injeção de água, em direção aos poços produtores, acarretando assim um aumento no volume recuperável do mesmo.

O fluido injetado, que também recebe o nome de fluido deslocante, deve empurrar o óleo, chamado de fluido deslocado, para fora dos poros da rocha e ao mesmo tempo ir ocupando o espaço deixado à medida que este vai sendo expulso. Mesmo na porção do reservatório invadida pelo fluido deslocante (água, por exemplo), nem todo o óleo lá contido é deslocado. O óleo retido nos poros da zona invadida pela água, denominado óleo residual, é consequência do efeito da capilaridade. (THOMAS, 2004, p. 201).

Neste processo, injeta-se água em um ponto estruturalmente mais baixo que o ponto produtor. Desta forma, promove-se um reforço do aquífero e a subida do óleo. "[...] utilizando-se poços já perfurados ou poços feitos especialmente para esta finalidade [...] é injetada a água, a qual irá deslocar o petróleo, por um processo

de varredura - como se fosse um êmbolo - para os poços produtores [...]" (CORRÊA, 2003, p. 62).

O processo de injeção eleva a saturação de água nas imediações do poço injetor, sendo esta região conhecida como zona lavada. À frente da água injetada é formado um banco de óleo. Entre a zona lavada e o banco de óleo forma-se a frente de avanço, onde a saturação de água cai bruscamente. Quando o banco de óleo alcança o poço produtor, nota-se um aumento na produção.

O processo de injeção de água, conforme afirma Thomas (2004). Não consegue deslocar todo o óleo existente na formação na direção do poço produtor e a eficiência do processo é de aproximadamente 50%. O fluxo ocorre sempre do ponto de maior pressão para o ponto de menor pressão, e depende das diferenças de permeabilidade entre as diversas camadas do reservatório. A água injetada entra, preferencialmente, pelas zonas de maior permeabilidade, promovendo assim um deslocamento heterogêneo do petróleo na formação.

#### **2.4.1 Águas de injeção**

As águas utilizadas no processo de injeção possuem origens diversas, podendo ser de superfície, ou seja, do mar, de rios e lagos, e de sub-superfície, isto é, obtida de aquífero ou produzida no processo de extração de petróleo (ROSA, CARVALHO e XAVIER, 2006). E diversos componentes fazem parte de sua composição:

- Sais dissolvidos – sódio, potássio, cálcio, magnésio, bário, estrôncio, ferro, cloretos, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos, sulfetos;
- Gases dissolvidos – CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>;
- Sólidos em suspensão – produtos de corrosão, impurezas etc.;
- Óleos;
- Microorganismos – bactérias.

Diversos problemas podem ser causados por uma injeção de água inadequada, a exemplo: tamponamento da formação, danos aos equipamentos de injeção e incrustação nos sistemas de injeção e produção (ROSA, CARVALHO e XAVIER, 2006).

Os sólidos em suspensão no óleo são oriundos da formação ou produtos de corrosão, dentre outros, e podem causar o tamponamento de poços injetores. O

petróleo contribui para a proliferação de bactérias, além de aglomerar sólidos em suspensão, podendo acarretar tamponamento de poços injetores e danos a filtros.

As bactérias são introduzidas na formação por meio das águas de injeção ou pelos fluidos de perfuração e causam diferentes problemas. As bactérias redutoras de sulfatos geram H<sub>2</sub>S a partir dos sulfatos, além de gerar sólidos por corrosão. Isto pode ocasionar diversos problemas, como por exemplo, corrosão dos equipamentos de injeção, além do tamponamento dos poços injetores. As bactérias oxidantes de ferro utilizam o ferro solúvel existente na água, gerando precipitados de óxidos. Isto pode ter como consequência, o tamponamento dos poços injetores, além de causar a redução da permeabilidade da água na formação.

Os íons Ca, Mg, Sr, Ba, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, oriundos dos sais dissolvidos, reagem entre si formando precipitados (BaSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub>, SrSO<sub>4</sub>). Isto ocorre devido a uma incompatibilidade entre a água de injeção e a água da formação, ou entre a água de injeção e as argilas existentes na formação. Isto pode ocasionar incrustação ou entupimento do sistema de injeção e produção, incorrendo no tamponamento da formação.

Segundo Rosa, Carvalho e Xavier (2006), as águas de injeção devem possuir baixo teor de sólidos em suspensão, baixo teor de óleo, ausência de bactérias redutoras de sulfatos, ausência de gases dissolvidos, compatibilidade com a água de formação, não incrustar nas condições de operação e não causar inchamento de argilas. Para tal, são empregados diversos processos químicos, tais como: biocidas, sequestradores de oxigênio, sequestradores de H<sub>2</sub>S, coagulantes, auxiliares de floculação, inibidores de incrustação, desemulsificante e inibidores de corrosão. São utilizados também diversos processos físicos para o tratamento, tais como clarificação (mistura, coagulação, floculação e decantação), hidrociclones, torres de eliminação de gases, flotação, filtração e membranas.

Para funcionar, um sistema de injeção de água abrange diversas áreas da tecnologia, desde a utilização de materiais mais modernos na construção dos novos equipamentos ao desenvolvimento de técnicas de engenharia mais eficientes. O alto grau de complexidade envolvida exige que, para a manutenção de um sistema deste porte, exista na empresa uma equipe multidisciplinar, formada por especialistas das áreas de mecânica, elétrica, instrumentação, tecnologia da informação, química, materiais, inspeção de equipamentos e operação. Todos estes, precisam trabalhar

de forma integrada, a fim de tornar o plano de manutenção eficiente, apesar de sua complexidade.

### **3 METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento desta monografia, realizou-se um estudo de caso, referente à implantação de MCC em uma unidade da PETROBRAS, utilizando-se o método de pesquisa documental. O universo deste estudo foi o sistema de injeção de água de Oiterinhos (Carmópolis - SE), que tem como objetivo aumentar o volume recuperável do petróleo existente na formação, por meio da injeção de água nas imediações do poço produtor.

Através da análise dos documentos internos da empresa, foram levantados os dados referentes ao processo de implantação da MCC, bem como, dos resultados obtidos deste processo.

Foi realizada uma análise crítica, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, da metodologia empregada pelo grupo de trabalho, definido pela Petrobras para atuar na implantação da MCC, na estação de injeção de águas de Oiterinhos, verificando-se a eficiência de suas ações.

## **4 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1 Estudo de Caso**

Com o objetivo de formular planos de manutenção utilizando a técnica de manutenção centrada em confiabilidade (MCC), a PETROBRAS, em 2008, criou um grupo de trabalho, formado por engenheiros, técnicos e pessoal de operação, com o objetivo de aplicar a MCC ao sistema de injeção de água de Oiterinhos (Carmópolis - SE).

Em uma primeira fase do processo, o grupo de especialista trabalhou para implantar a MCC. Durante o período de 24 de março a 5 de setembro de 2008, este grupo se reuniu, diversas vezes, com o intuito de analisar os diversos modos de falhas dos equipamentos, que pudessem levar à indisponibilidade do sistema, juntamente com suas respectivas causas.

Pelo grupo de trabalho, foram identificados nove subsistemas constituintes do sistema de injeção de água de Oiterinhos. Estes nove subsistemas são formados por 77 componentes, que juntos, desempenham 72 funções. Foram identificadas, 72 falhas funcionais associadas a cada uma das funções identificadas. Ao todo foram identificados e analisados, 184 modos de falhas.

Este grupo propôs ações otimizadas de manutenção, com o objetivo de evitar a concorrência de falhas e preservar as funções do sistema. Neste sentido, o grupo procurou reduzir a frequência de intervenções corretivas, racionalizando as tarefas de manutenção, tornando-as mais objetivas e direcionadas, para as falhas diagnosticadas como principais e relevantes.

Em uma segunda fase, ao final do processo, um estudo de confiabilidade do sistema de injeção de água de Oiterinhos foi realizado.

### **4.2 Injeção de Água em Carmópolis**

Atualmente, a estação de Bonsucesso recebe cerca de 35.000 m<sup>3</sup>/d de água bruta, dos quais trata cerca de 27.000 m<sup>3</sup>/d. Desta vazão tratada, envia 23.200 m<sup>3</sup>/d para a estação de injeção de Oiterinhos, que recebe também água de poços de captação. Hoje, Oiterinhos é responsável pela injeção de 6.450 m<sup>3</sup>/d de

água doce (podendo chegar a um máximo de 8.424 m<sup>3</sup>/d) e pelas injeção de 16.450 m<sup>3</sup>/d de água produzida (podendo chegar a um máximo de 19.820 m<sup>3</sup>/d).

O campo de Carmópolis hoje, trata e injeta, ao todo, cerca de 27.000 m<sup>3</sup>/d, podendo chegar a um total máximo de 32.000 m<sup>3</sup>/d.

Na configuração atual do sistema de águas de injeção no campo de Carmópolis, a estação de injeção de águas de Oiterinhos encontra-se em uma posição centralizada, em relação aos satélites de injeção de água, sendo o ponto de partida de uma extensa rede de distribuição de águas para injeção. Devido à sua posição centralizada, a estação de injeção de água de Oiterinhos possui função estratégica, para o processo de injeção de águas no campo de Carmópolis, contribuindo significativamente para o aumento da produção, promovendo o aumento do volume recuperável de petróleo.

#### **4.3 Descrição do Sistema de Injeção de Água de Oiterinhos**

A Estação de Água de Oiterinhos possui as funções de injeção água doce, água produzida, nutrientes e transferência de água doce e abrandada para a Estação de Siririzinho 1 (SZ-1).

A água doce, utilizada para injeção e alguns poços do campo, é a capitada e tratada com adição de bactericida de choque, de quatro em quatro dias, e bissulfito de amônia, continuamente. Uma parte desta água é injetada pela estação de Oiterinhos, a outra parte é transferida para a estação de SZ-1, para ser injetada nos poços daquela região.

A água produzida, utilizada para injeção em alguns poços no campo, é proveniente do descarte do processo de produção de petróleo. Para ser utilizada passa por um processo de flotação e filtração, para a retirada de resíduos de óleo ainda existentes. Os processos de flotação e filtração são executados na estação de Bonsucesso.

A estação de tratamento de água 20 (STA-20) encontra-se instalada dentro da estação de Vapor V, em Carmópolis-SE. A STA-20 é responsável pelo abrandamento da água utilizada nos geradores de vapor. Este processo consiste em retirar a dureza da água, ou seja, retirar o cálcio e o magnésio presentes. Parte desta água é enviada para a estação de injeção de águas de Oiterinhos, para que desta seja transferida para a estação de SZ-1.

A estação de injeção de água de Oiterinhos é responsável, também, pela injeção de nutrientes (nitrato, fosfato e açúcar) em alguns poços piloto, do campo de Carmópolis.

Para exercer suas funções, a estação de injeção de água de Oiterinhos conta com 18 bombas ao todo, sendo 4 destas específicas para a injeção de nutrientes, e com vazão irrelevante.

A Tabela 3 mostra a distribuição das bombas e suas respectivas funções desempenhadas na estação de Oiterinhos. Além desta, a Figura 24 apresenta o *layout* da estação de injeção de águas.

Tabela 3 – Bombas da estação de injeção de águas de Oiterinhos

FUNÇÃO	BOMBAS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Injeção de água doce																		
Injeção de água produzida																		
Transferência de água doce																		
Transferência de água abrandada																		
Injeção de nutrientes																		
Vazão	4080	4080	4080	4080	2880	2880	2880	2880	2880	800	800	800						
																		<b>m³/dia</b>

Fonte: Adaptado de Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/08-AIM/RJN)

A Figura 10 apresenta o *layout* da estação de injeção de águas de Oiterinhos. Nela é possível se observar a distribuição dos equipamentos na estação.

#### 4.4 Descrição dos subsistemas

O grupo de trabalho identificou nove subsistemas principais que compõem o Sistema de Injeção de Água da Estação de Oiterinhos. Estes subsistemas são:

1. Subsistema de Controle e Supervisão
2. Subsistema de Instrumentação geral da Estação de Injeção de Água de Carmópolis
3. Subsistema das bombas
4. Subsistema Motores das Bombas
5. Subsistema de Monitoração de Temperatura
6. Subsistema de Tancagem

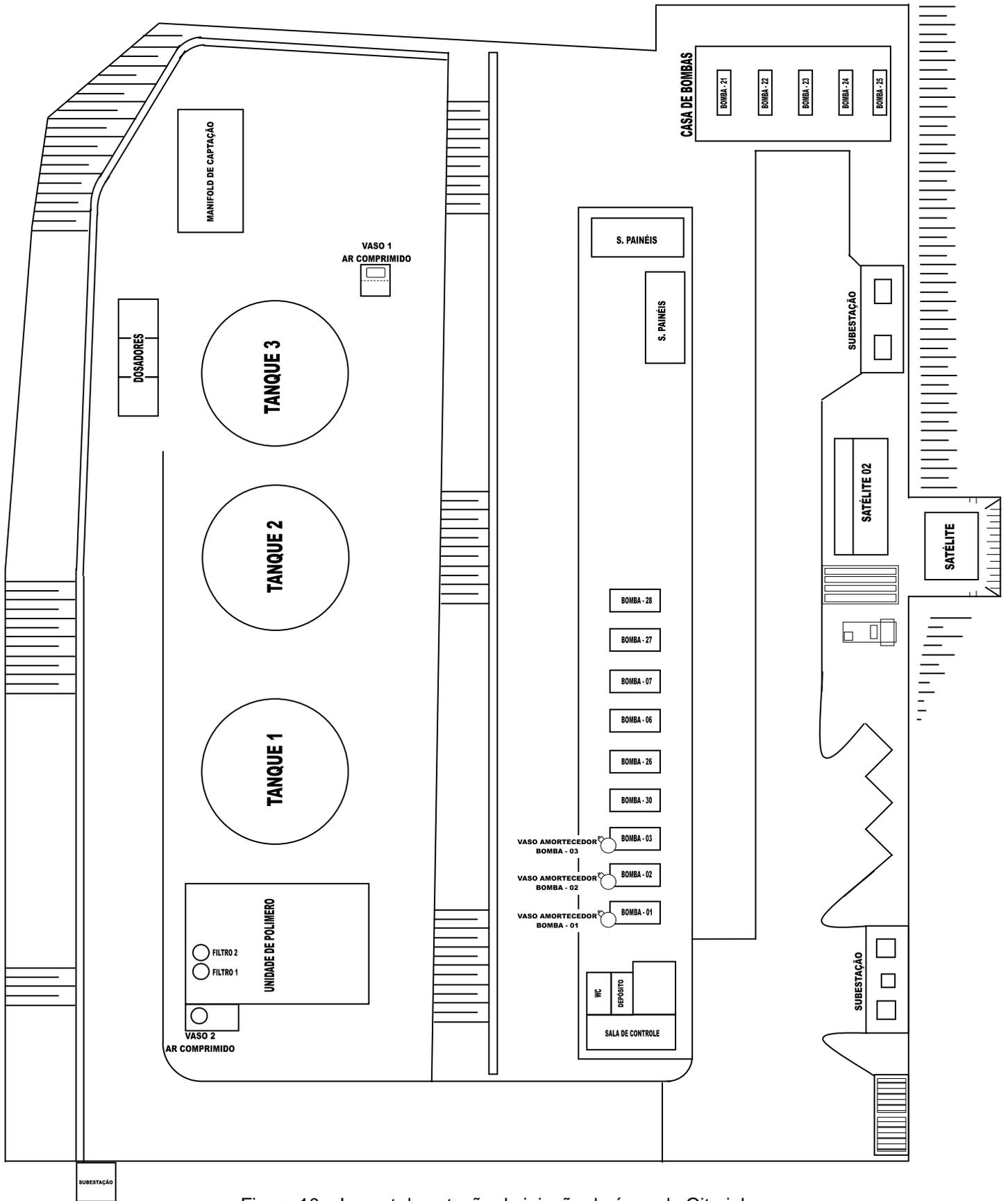


Figura 10 – Layout da estação de injeção de água de Oiterinhos

Fonte: Petrobras

7. Subsistema de Transferência de Água Produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de Água de Carmópolis
8. Subsistema de Ar Comprimido
9. Subsistema de utilidades Elétricas

A Figura 11 mostra, de forma simplificada, a interação dos nove subsistemas constituintes do sistema de injeção de água de Oiterinhos.

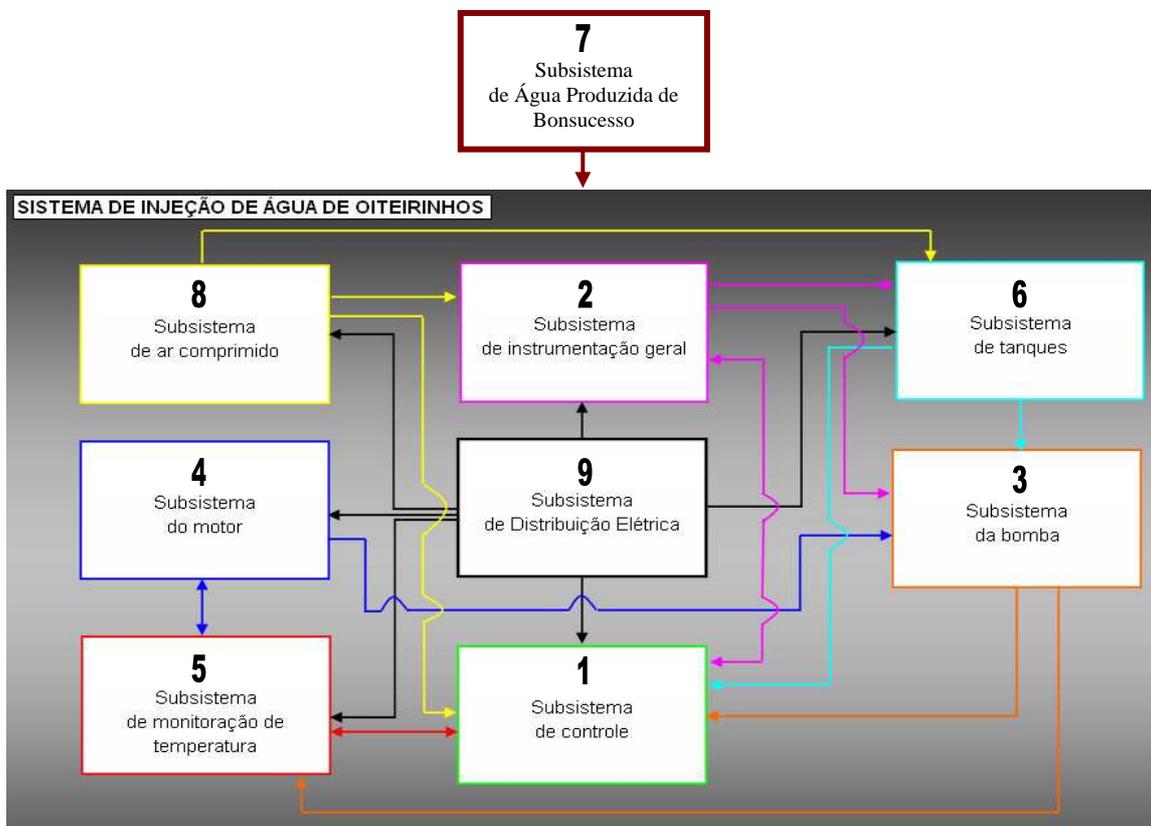


Figura 11 – Modularização do sistema de injeção de água de Oiterinhos  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/ 08-AIM/RJN)

#### 4.4.1 Subsistema de controle e supervisão

O subsistema de controle e supervisão recebe todas as variáveis de processo (analógicas e digitais), trata-as, executa segundo uma lógica e gera saídas, conforme apresentado de forma modularizada na Figura 12.

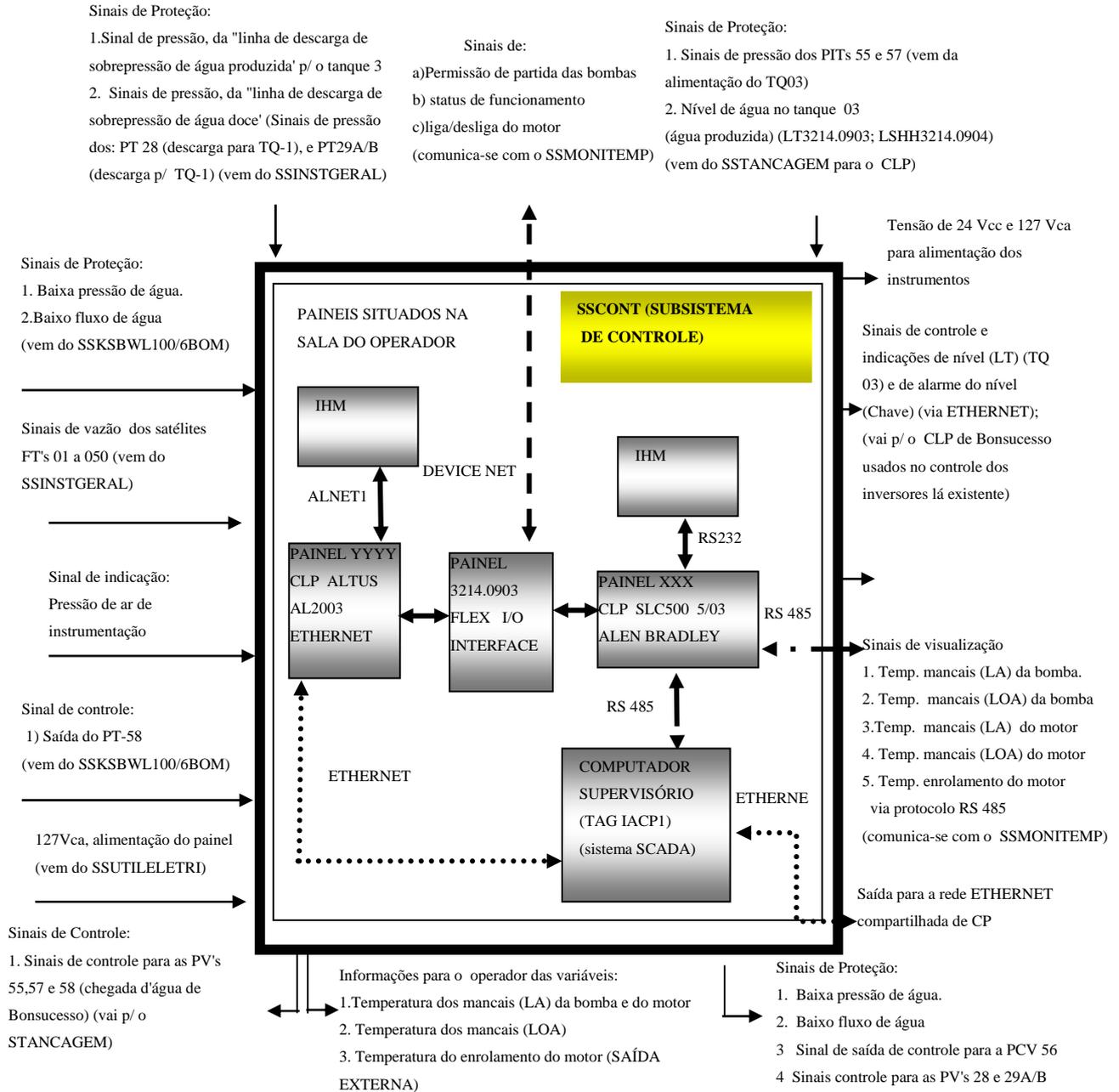


Figura 12 – Modularização do subsistema de controle e supervisão  
Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/ 08-AIM/RJN)

#### 4.4.2 Subsistema de Instrumentação geral da Estação de Injeção de Água de Carmópolis

O Subsistema de instrumentação geral tem por finalidade monitorar as variáveis de processo através de instrumentos analógicos e digitais, gerando dados de saída para o sistema de controle e supervisão. Este, recebe e executa os dados do sistema de controle e supervisão, gerando novas saídas, conforme esquematizado na Figura 13.

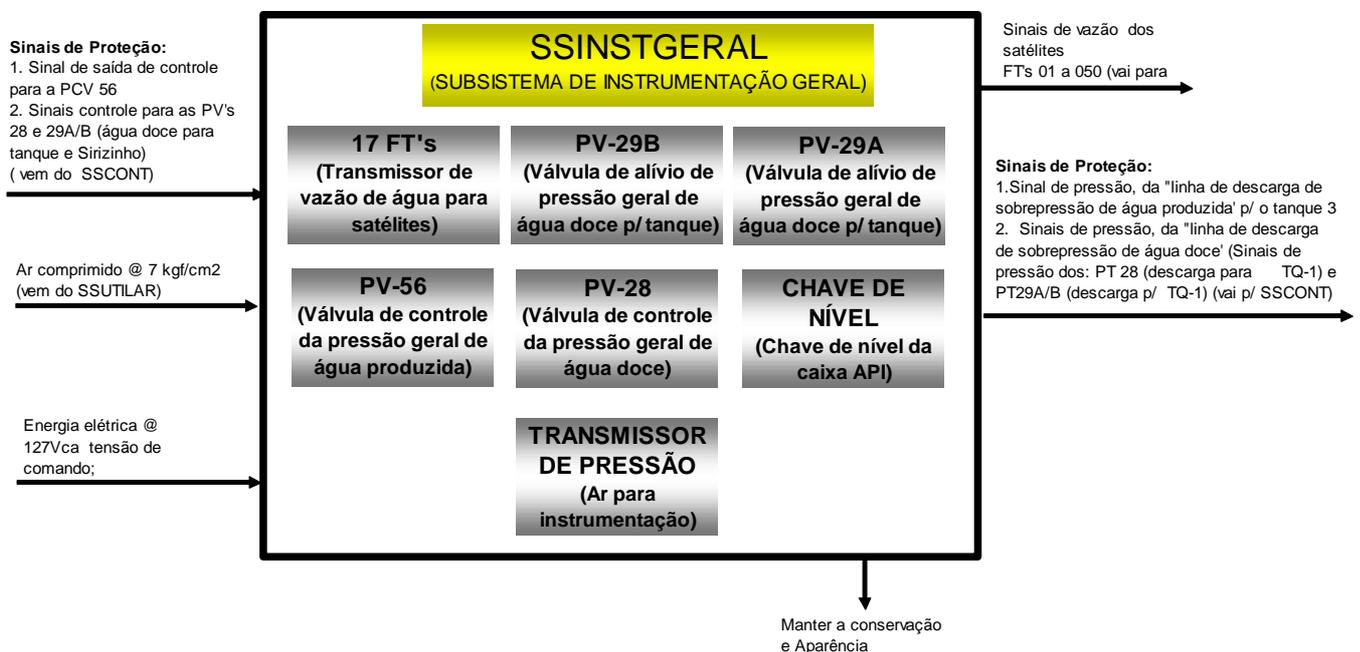


Figura 13 – Modularização do subsistema de Instrumentação geral  
Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02726/ 08-AIM/RJN)

#### 4.4.3 Subsistema das bombas

O subsistema das bombas possui a função de bombear água, seja para injeção ou transferência. Este subsistema é formado pelos componentes relacionados ao funcionamento mecânico das bombas, bem como pela instrumentação associada á mesma. A Figura 14 apresenta o resultado da modularização deste subsistema.

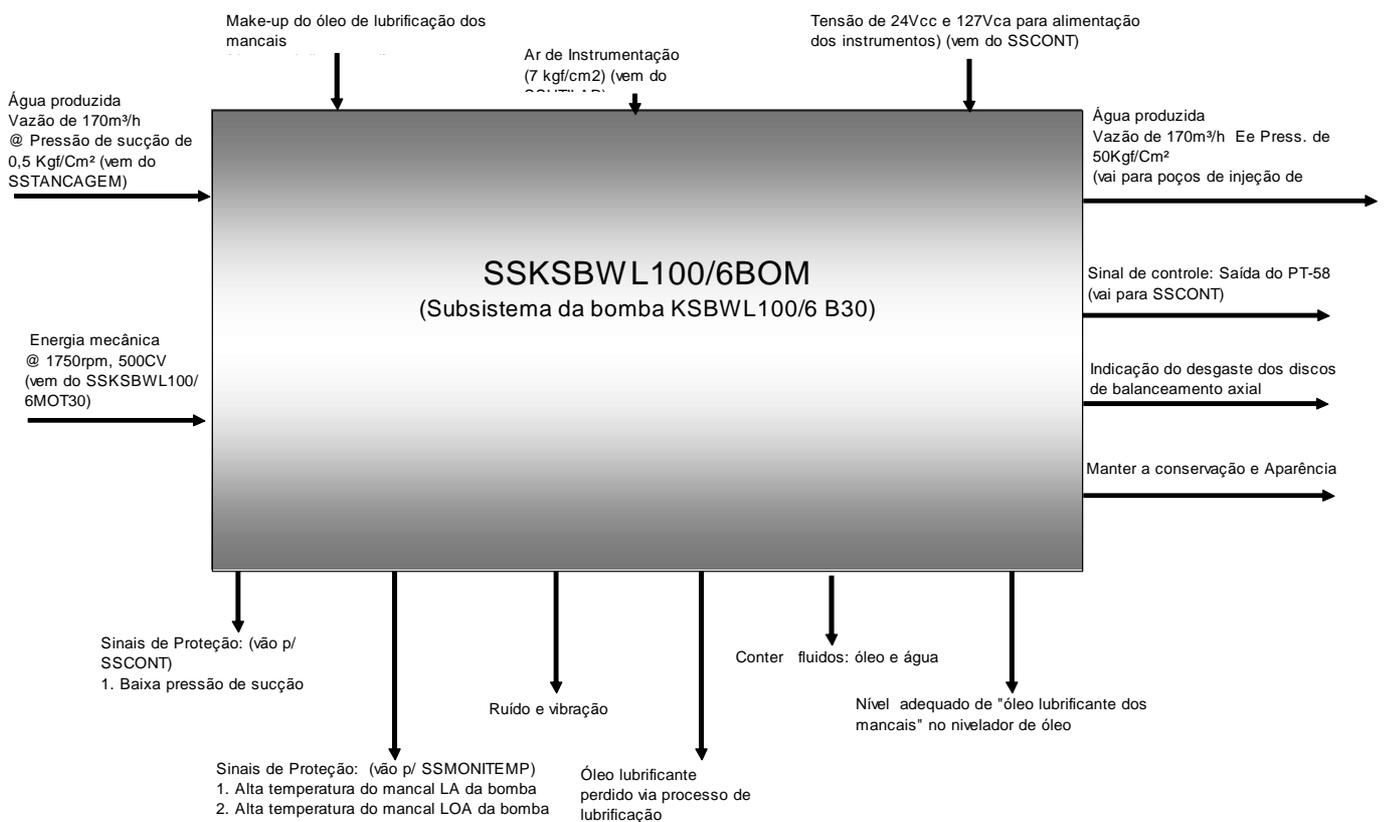


Figura 14 – Modularização do subsistema das bombas  
Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/ 08-AIM/RJN)

#### 4.4.4 Subsistema motores das bombas

O subsistema dos motores das bombas possui a função de fornecer energia mecânica para o acionamento das bombas. Este subsistema é formado pelos componentes relacionados ao acionamento elétrico das bombas, bem como pela instrumentação associada. A Figura 15 apresenta o resultado da modularização deste subsistema.

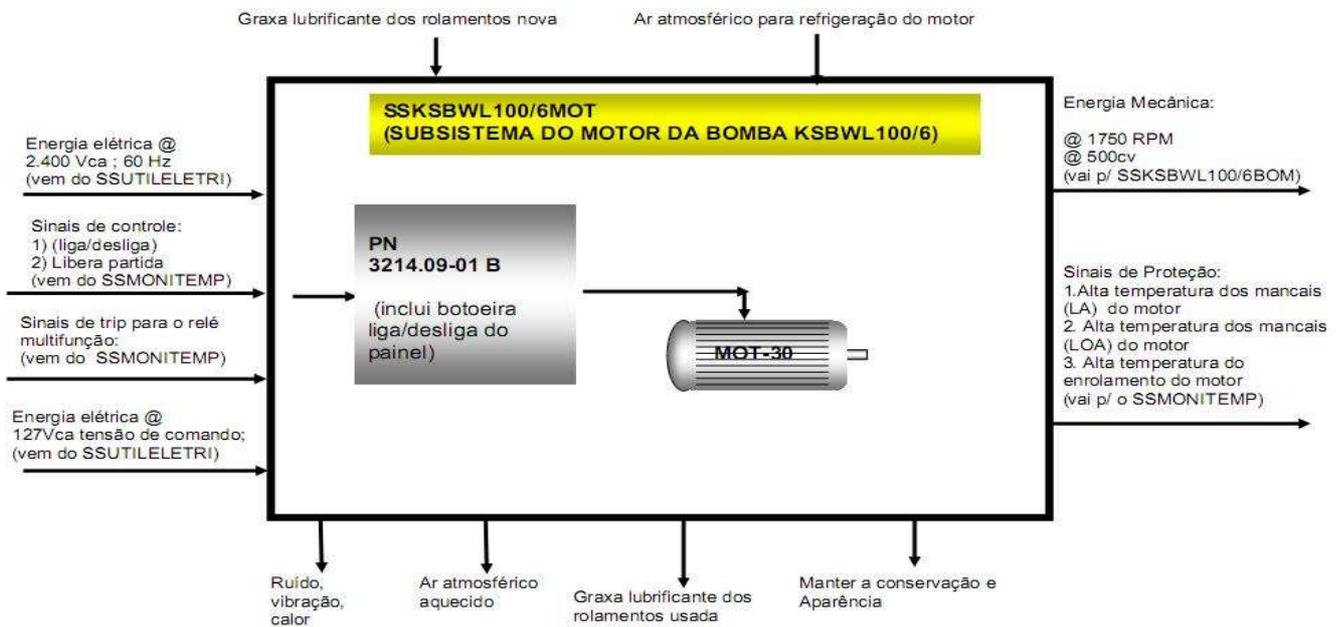


Figura 15 – Modularização do subsistema motores das bombas  
Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/ 08-AIM/RJN)

#### 4.4.5 Subsistema de Monitoração de Temperatura

O subsistema de monitoração de temperatura tem como função monitorar as temperaturas dos mancais de motores e bombas de injeção bem como dos enrolamentos dos LOA motores elétricos. A Figura 16 apresenta o resultado da modularização deste subsistema.

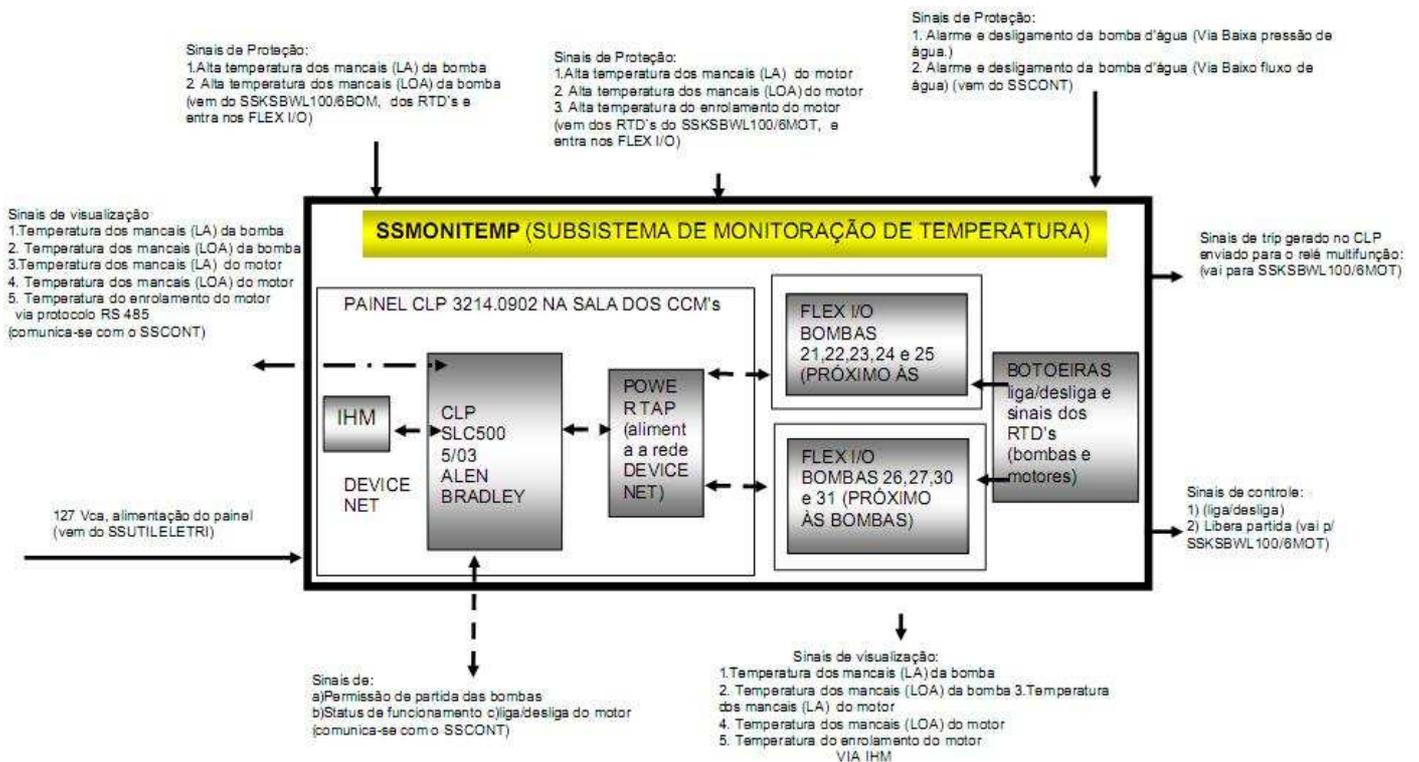


Figura 16 – Modularização do subsistema de monitoração de temperatura  
Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02726/08-AIM/RJN)

#### 4.4.6 Subsistema de Tancagem

O subsistema de tancagem tem como função armazenar água doce e água produzida. Este subsistema é formado por 03 tanques, com capacidade individual de 850 m<sup>3</sup>, totalizando 2.550 m<sup>3</sup>, conforme apresentado na Figura 17.

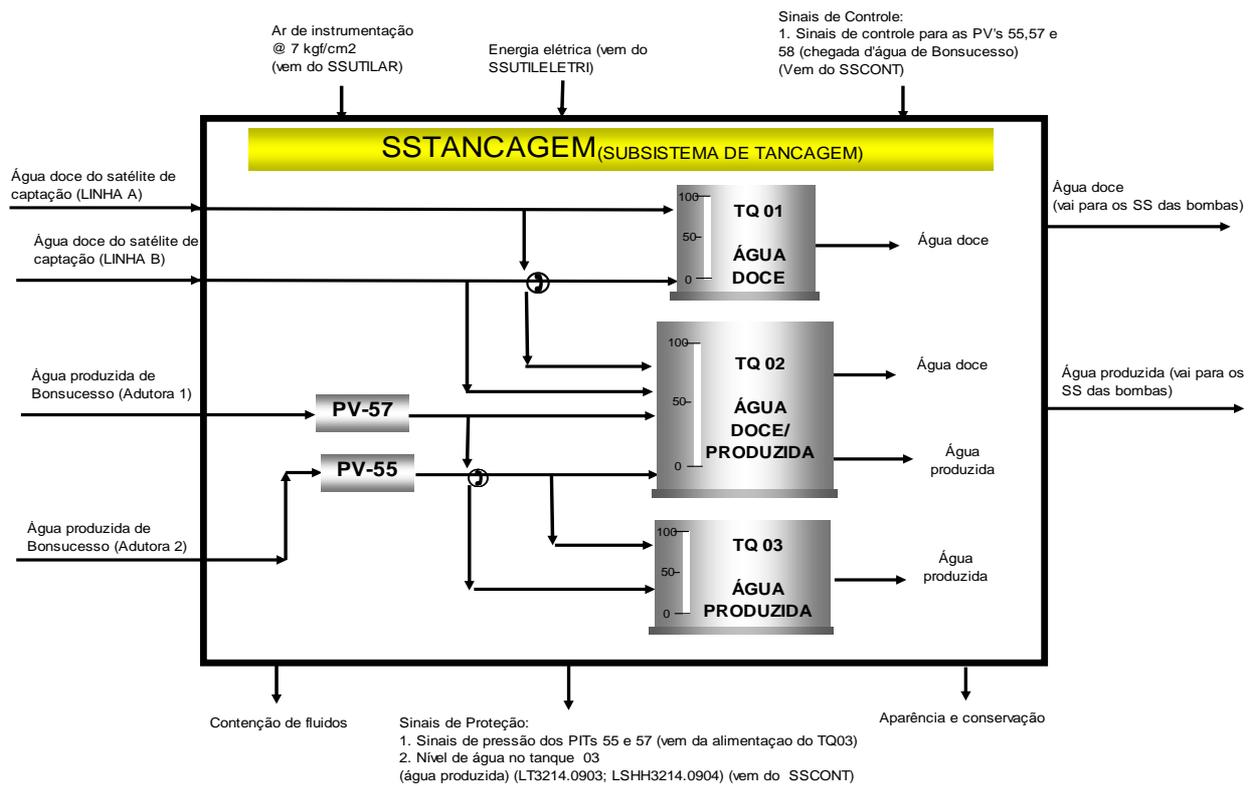


Figura 17 – Modularização do subsistema de tancagem  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02726/ 08-AIM/RJN)

#### 4.4.7 Subsistema de Transferência de água produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de água de Oiterinhos

O subsistema de transferência de água produzida de Bonsucesso tem como função transferir água produzida da estação de Bonsucesso para a estação de Oiterinhos, a uma vazão de 17000 m<sup>3</sup>/dia. O resultado da modularização deste subsistema é apresentado na Figura 18.

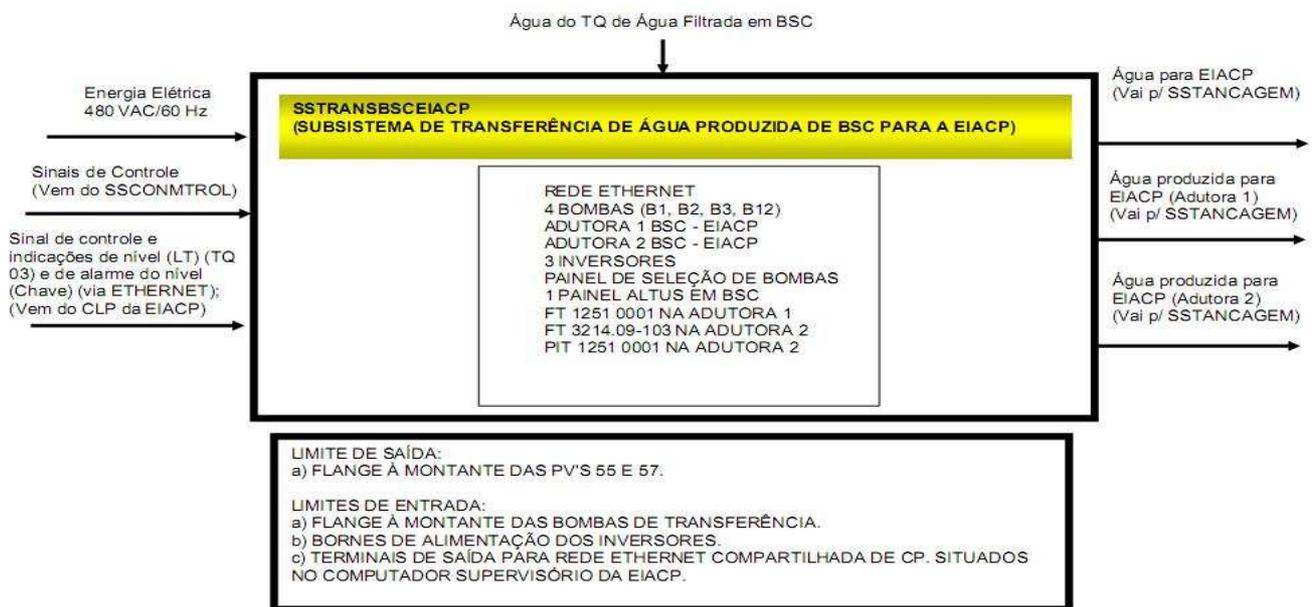


Figura 18 – Modularização do subsistema de Transferência de água produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de água de Oiterinhos

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02726/08-AIM/RJN)

#### 4.4.8 Subsistema de Ar Comprimido

O subsistema de ar comprimido tem como principal função alimentar, com ar comprimido, à pressão de 7,0 kgf/cm<sup>2</sup>, os instrumentos e válvulas de controle existentes na Estação de Injeção de Água de Carmópolis. A modularização deste subsistema é mostrado na Figura 19.

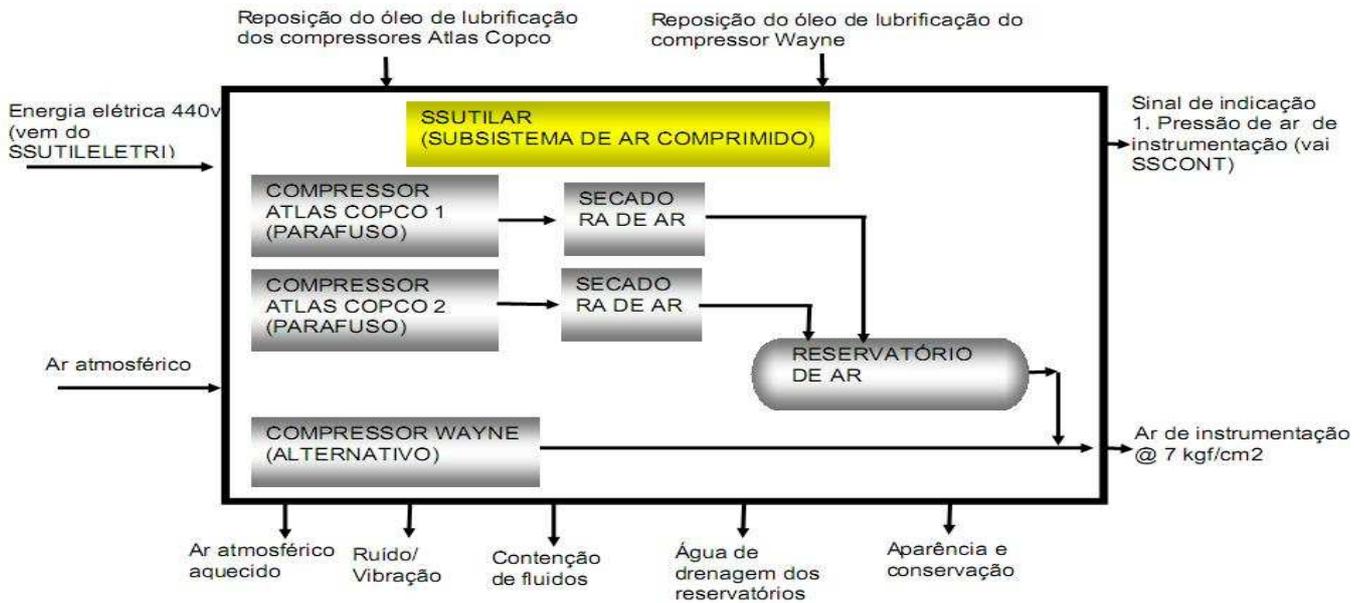


Figura 19 – Modularização do subsistema de ar comprimido  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02726/08-AIM/RJN)

#### 4.4.9 Subsistema de Utilidades Elétricas

O subsistema de utilidades elétricas tem como funções principais fornecer energia elétrica nas tensões de 2,4 kVca, 480 Vca e 220 Vca. A Figura 20 apresenta, de forma modularizada, este subsistema.

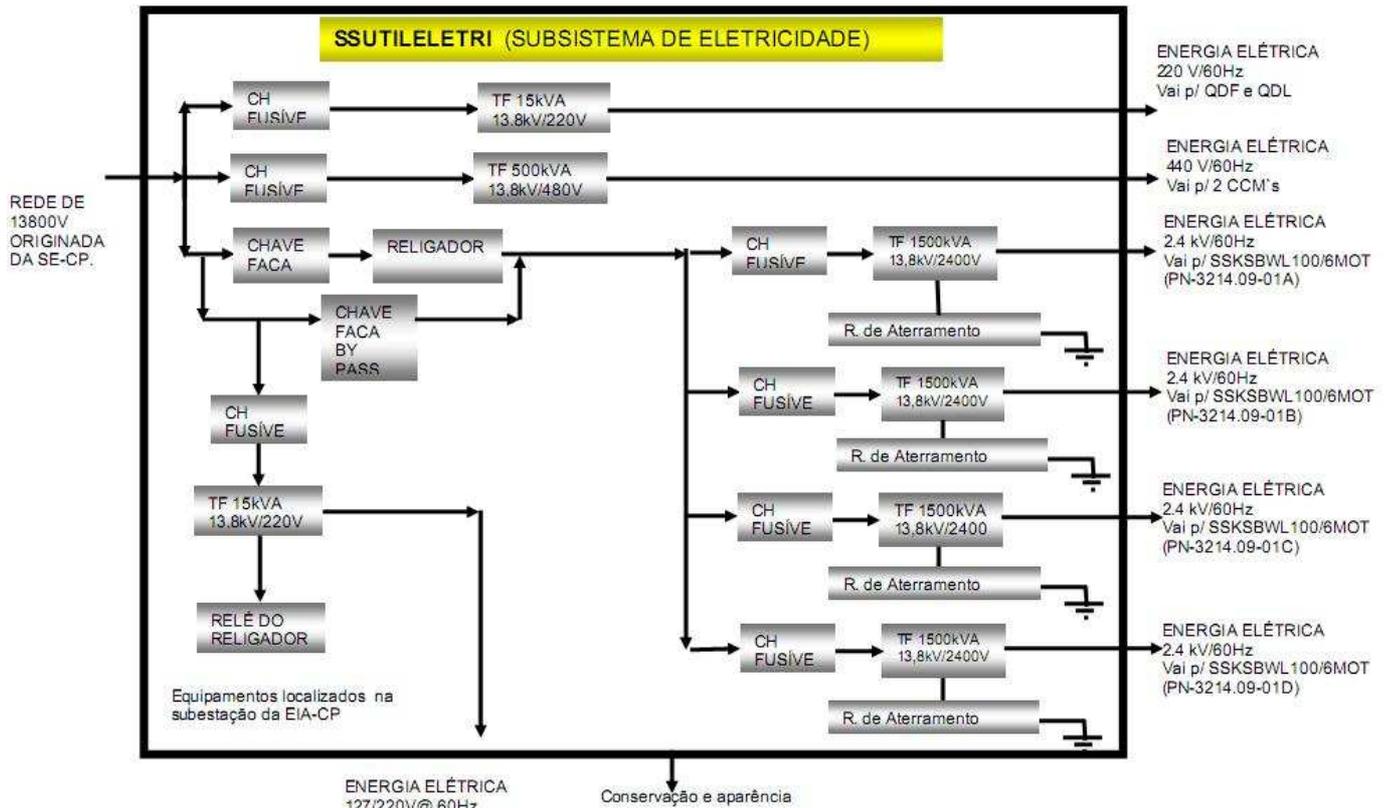


Figura 20 – Modularização do subsistema de utilidades elétricas  
Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/ 08-AIM/RJN)

#### 4.5 Processo de implantação da MCC

O processo de implantação da MCC foi desenvolvido em cinco etapas e ao final, um novo plano de manutenção foi proposto pelo grupo de trabalho.

##### 4.5.1 Etapa I

Primeiramente, definiu-se qual seria o sistema analisado, no caso a estação de injeção de águas de Oiterinhos, e subdividiu-o em sistemas menores e mais simples, para facilitar a análise.

Nesta fase, foram identificadas todas as interfaces que entraram e que saíram da fronteira dos subsistemas. Estas interfaces foram, energia elétrica, ar de instrumentos, sinais de controle, torque e fluidos de trabalho (água de injeção, de resfriamento, vapor, óleo, gás etc.).

Nesta etapa foram incluídas, nas fronteiras da análise, todos componentes necessários para o cumprimento das funções do sistema.

O resultado desta etapa foi a modularização do sistema e subsistemas, conforme será mostrado mais adiante.

#### **4.5.2 Etapa II**

Nesta etapa, o objetivo foi identificar quais eram os padrões de performance dos equipamentos em seu contexto operacional, analisando de que maneiras estes falhavam em cumprir suas funções.

Um subsistema, geralmente, apresenta uma função primária, que é o motivo pelo qual o sistema foi concebido. Todo subsistema apresenta, também, uma série de funções secundárias, que, geralmente, referem-se à conservação e aparência, dentre outros.

As falhas funcionais descrevem de que maneira o subsistema pode falhar em desempenhar suas funções.

O resultado esta etapa foi a análise das falhas funcionais e a matriz de componentes por falha funcional.

A Tabela 4 apresenta a distribuição, por subsistema, das 248 falhas identificadas pelo grupo de trabalho.

Tabela 4 – Distribuição das falhas por subsistema

Subsistema	Falhas Evidentes					Falhas Ocultas					Total	
	Manut. Pró-ativa		Manut. Corret.	Reproj.	Total	Manut. Pró-ativa			Manut. Corret.	Reproj.		Total
	BC	BT	MC	REP		TDF	BC	BT	MC	REP		
SSCONT	0	0	40	0	40	0	0	0	0	0	0	40
SSINSTGERAL	1	1	11	0	13	0	0	0	0	0	0	13
SSKSBWL100/6BOM30	5	0	31	0	36	0	0	0	0	0	0	36
SSKSBWL100/6MOT30	1	0	13	0	14	0	0	0	0	0	0	14
SSMONITEMP	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	6
SSTANCAGEM	6	0	16	0	22	0	0	0	0	0	0	22
SSTRANSBSC-EIA/CP	4	0	18	0	22	0	0	0	0	0	0	22
SSUTILAR	0	0	33	0	33	1	0	0	0	0	1	34
SSUTILELETRI	17	0	42	0	59	2	0	0	0	0	2	61
<b>Totais =</b>	<b>34</b>	<b>1</b>	<b>210</b>	<b>0</b>	<b>245</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>248</b>

**BC: baseada na condição / BT: baseada no tempo / MC: manutenção corretiva / REP: reprojeto**

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/08-AIM/RJN)

#### 4.5.3 Etapa III

Nesta etapa, objetivou-se analisar a causa de cada falha funcional identificada, avaliando-se suas conseqüências. Para tal, foram identificados os eventos que causam uma falha funcional, registrando-se os modos de falha dominantes (mais prováveis). Além disso, foram considerados na análise, os modos de falha que já ocorreram e estavam sendo prevenidos através das rotinas de manutenção em vigor. Nesta etapa, todos os modos de falha provável foram considerados, tenha ele sido registrado ou não nos históricos das manutenções.

Todas as falhas funcionais ocorridas e evidenciadas foram registradas, descrevendo-se suas ameaças em relação à segurança, meio ambiente e produção (se foi afetada e por quanto tempo), bem como possíveis danos secundários. Considerou-se também o tempo de reparo e os possíveis impactos causados em outros subsistemas.

O resultado desta etapa é a FMECA (análise da criticidade dos modos de falhas e de seus efeitos).

#### 4.5.4 Etapa IV

Nesta etapa, foram classificados os modos de falhas selecionados na FMECA, identificando-se quais tarefas seriam candidatas aplicáveis, selecionando-se, dentre estas, as mais custo-eficientes e determinando-se as suas periodicidades.

O diagrama de decisão foi elaborado, no qual cada falha foi classificada quanto à suas conseqüências. Neste sentido, quanto maior a conseqüência da falhas, maior deveria ser o esforço em preveni-la.

Como resultado, para cada categoria de falha, uma tarefa pró-ativa para evitá-la foi sugerida, considerando sua viabilidade técnica e econômica.

#### 4.5.5 Etapa V

Nesta última etapa, analisou-se novamente a lista de tarefas estudadas para, validá-las ou não. Foi verificado se realmente as tarefas definidas eram as mais custo-eficiente ou não. As tarefas selecionadas, pelo diagrama de decisão da MCC, foram estruturadas na forma de um plano de manutenção.

O Quadro 2 apresenta parcialmente o plano de manutenção gerado. Neste, constam os equipamentos que constituem os subsistemas, relacionando, para cada um, o tipo de tarefa de manutenção que deverá ser executada, bem como a sua periodicidade.

Quadro 2 – Plano de manutenção gerado (parcial)

ITEM	TAG SUBSISTEMA	TAG EQUIPAMENTO	TIPO TAREFA	TAREFA	PERIODICIDADE
1	SSCONT	AL2003	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
2	SSCONT	EIACP1	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
3	SSCONT	IHM 1	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
4	SSCONT	IHM 2	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
5	SSCONT	INTERFACE I/O	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
6	SSCONT	SLC500	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
7	SSINSTGERAL	FT-3,4,6 e 8"	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
8	SSINSTGERAL	LV-CX API	BC	(BC) Executar inspeção e teste da chave de nível	1ANOS
9	SSINSTGERAL	LV-CX API	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
10	SSINSTGERAL	PV-28	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
11	SSINSTGERAL	PV-29A/B	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
				⋮	
				Ensaio de fator de potência	3ANOS
110	SSUTILELETRI	TF-04	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
111	SSUTILELETRI	TF-220V	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
112	SSUTILELETRI	TF-440V	BC	(BC) Executar análise físico-química e espectrográfica do óleo isolante	1ANOS
113	SSUTILELETRI	TF-440V	MC	(MC) Executar Manutenção Corretiva	
114	SSUTILELETRI	TF-440V	TDF	(TDF) Executar inspeção visual do para raios	12MESES

Fonte: Adaptado de Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/08-AIM/RJN)

A Tabela 5 apresenta a distribuição das 248 tarefas no plano de manutenção gerado. Observa-se que 84,68% destas tarefas, são de manutenção corretiva e apenas 13,71% são de manutenção baseada na condição. Manutenções

corretivas acarretam paradas não planejadas do sistema, influenciando negativamente na confiabilidade. Em contra partida, manutenções baseadas na condição evitam paradas não planejadas do sistema, influenciando positivamente na confiabilidade.

Tabela 5 – Distribuição das tarefas de manutenção

Tipo de Tarefa	Quantidade	Percentual
Base Condição (BC)	34	13,71%
Base Tempo (BT)	1	0,40%
Teste de Detecção de Falhas (TDF)	3	1,21%
Manutenção Corretiva (MC)	210	84,68%
<b>Total</b>	<b>248</b>	<b>100%</b>

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/08-AIM/RJN)

O Quadro 3 apresenta, parcialmente, um estudo comparativo entre o plano gerado e o existente. Nele podemos observar, para cada item, as tarefas de manutenção do plano gerado e do plano existente, com suas respectivas criticidades e periodicidades. O quadro apresenta também a ação tomada pelo grupo de trabalho, isto para cada componente, juntamente com a respectiva justificativa.

Quadro 3 – Estudo comparativo entre o plano gerado e o existente

ESTUDO COMPARADO PLANO MCC X PLANO EXISTENTE DO SISTEMA DE INJEÇÃO - EST. OITERINHOS - UN-SEAL											
PLANO NOVO MCC					PLANO EXISTENTE					AÇÃO	DATA: REV. 0
COMPONENTE	CRIT.	TAREFA			TIPO	TAREFA			TIPO		
		DESCRIÇÃO	Num	FREQ Unidade		DESCRIÇÃO	Num	FREQ Unidade			
B30	60	Executar análise de vibração	1	mes(es)	BC	Verificar nível de vibração.	30	dia(s)	BC	M	Severidade moderada para a produção e crítica para custos e disponibilidade
B30	30	Executar inspeção visual do dispositivo indicador de deslocamento axial	2	mes(es)	BC					I	Severidade moderada para a produção e crítica para a disponibilidade
B30		Executar Manutenção Corretiva			MC					D	Cinco mecanismos de falha analisados foram considerados de baixa criticidade
C-513401	4	Executar Manutenção Corretiva			MC					D	Criticidade baixa. Operação intermitente e com reserva instalado.
C-513402	19	Executar Manutenção Corretiva			MC					D	Criticidade baixa. Operação intermitente e com reserva instalado.
EIACP1 - Computador	2	Executar Manutenção Corretiva			MC					D	Criticidade baixa. Não se justifica preventiva
FT101	35	Executar verificação de funcionamento e estado do instrumento	1	ano(s)	BC	Calibrar Transmissor de Vazão conforme ficha de calibração	360	dia(s)	BT	MT	O acompanhamento do estado do instrumento é suficiente para garantir a confiabilidade
FT-1251-0001	35	Executar verificação de funcionamento e estado do instrumento	1	ano(s)	BC	Calibrar Transmissor de Vazão conforme ficha de calibração	360	dia(s)	BT	MT	O acompanhamento do estado do instrumento é suficiente para garantir a confiabilidade
⋮											
TIPO		DESCRIÇÃO					TOTALIZAÇÕES				
BT	BASE TEMPO					1	49				
BC	BASE CONDIÇÃO					34	78				
TDF	TAREFA DE DETECÇÃO DE FALHA PARA PESQUISA DE FALHA OCULTA					3	0				
MC	MANUTENÇÃO CORRETIVA					76	0				
SIGNIFICADO										TOTALIZAÇÕES	
I	INCLUIR TAREFA DO PLANO MCC										16
M	MANTER TAREFA(S) DO PLANO EXISTENTE										21
MAF	MANTER TAREFA(S) DO PLANO EXISTENTE, COM ALTERAÇÃO DA(S) FREQUÊNCIA(S)										4
MT	MANTER TAREFA(S) DO PLANO EXISTENTE, COM SUBSTITUIÇÃO DO(S) TIPO(S) DE MANUTENÇÃO										4
S	SUBSTITUIR TAREFA(S) DO PLANO EXISTENTE, POR TAREFAS DO MCC										0
D	DESNECESSÁRIO EXECUTAR TAREFA PREVENTIVA										70
E	ELIMINAR TAREFA(S) DO PLANO EXISTENTE										101
REP	REPROJETO										3

Fonte: Adaptado de Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02726/08-AIM/RJN)

#### 4.6 Estudo de Confiabilidade

O estudo de Confiabilidade iniciou-se com a seleção dos modos de falhas com criticidade alta e média, identificados pelo grupo de trabalho, para cada um dos subsistemas que compõem o sistema de injeção de água de Oiterinhos, através do estudo de manutenção centrada em confiabilidade.

O grupo de especialistas da unidade, empregando a metodologia FMECA, analisou as conseqüências dos principais efeitos das falhas identificadas para cada subsistema, quanto a operação, disponibilidade, custos, segurança e meio ambiente.

A criticidade foi gerada a partir da associação das dimensões probabilidade da falha e conseqüência do efeito da falha.

Um modelo foi criado, por meio de árvore de falhas, contemplando os componentes associados aos modos de falhas com criticidade alta e média, estruturado através de um arranjo lógico, direcionado para a falha da função primária do sistema. Foi definido, como evento topo, a falha funcional do sistema de injeção de água da estação de Oiterinhos. Os dados quantificados, referentes às taxas de falhas e de reparo médias, foram associados ao modelo criado.

Uma simulação foi realizada, através do programa AvSim+ V10 (programa criado pela Isograph Reliability Software), considerando-se um tempo de missão de 600 h, sendo gerados assim todos os parâmetros de confiabilidade de interesse para o sistema. Adotou-se este tempo de missão por ele estar próximo da probabilidade de que ao menos uma falha funcional possa ocorrer, de acordo com os dados colhidos pelo grupo de trabalho nos históricos das manutenções.

A Figura 21 apresenta, parcialmente, a árvore de falhas criada. Nesta, observa-se o desdobramento do *Gate* 9, referente ao subsistema de utilidades elétricas. Desta forma, é apresentada toda a complexidade existente apenas para este ramo da árvore criada, expondo todos os componentes críticos deste subsistema.

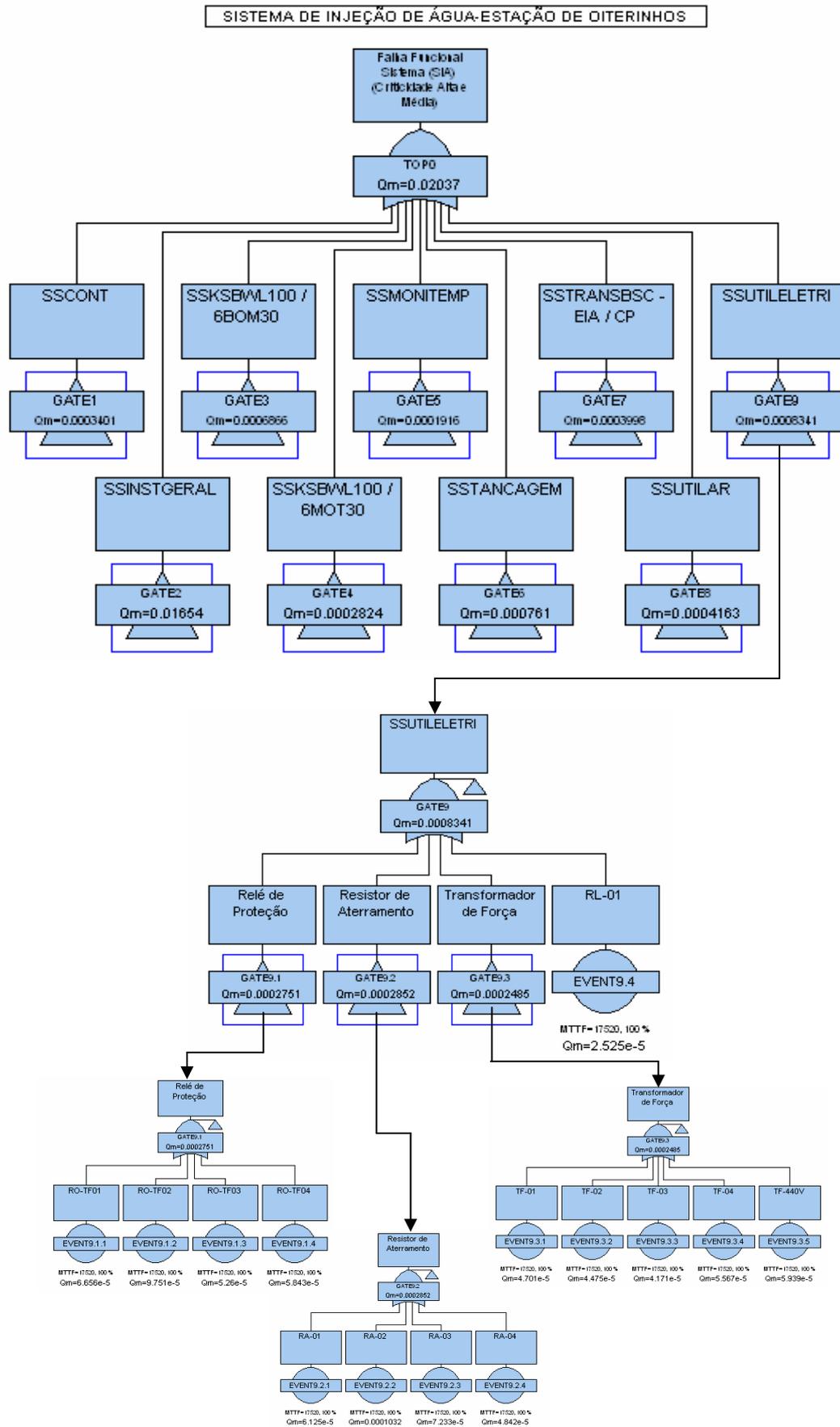


Figura 21 – Árvore de falhas desdobrada para o Gate 9.  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02727/ 08-AIM/RJN)

#### 4.6.1 Dados de entrada

Como dados de entrada, foram utilizadas as taxas de falhas (frequência de falhas), assumidas pelo grupo de trabalho conforme ilustrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Taxa de falhas remota, improvável, provável e freqüente

Probabilidade	Falhas por Ano	Taxa de Falhas	MTTF	Ajuste
REMOTA	< 1	5,71E-05	17520,00	0,50
IMPROVAVEL	Entre 1 e 2	1,71E-04	5840,00	1,50
PROVAVEL	Entre 2 e 4	3,42E-04	2920,00	3,00
FREQUENTE	> 4	4,57E-04	2190,00	4,00

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Utilizou-se como critério para a definição da faixa de probabilidade, a quantidade de falhas estimadas por ano. Adotou-se um ponto de ajuste no intervalo, para a estimativa da taxa de falha que representasse a faixa de probabilidade. Por exemplo, para a probabilidade Remota, cujo número de falhas esperadas por ano é menor que 1, adotou-se o ajuste de 0,50. Então a taxa de falhas foi calculada da seguinte forma:

Taxa de Falhas = 0,5 / ano. Como 1 ano tem 8760 horas, a taxa de falhas referente à probabilidade remota foi de 0,50 falhas / 8760 h =  $5,71 \times 10^{-5}$  falhas por hora e assim sucessivamente.

Quando para um mesmo componente existiram diferentes probabilidades de falhas, foi adotada, de forma conservativa, a de menor MTTF, ou seja, a de maior frequência de falhas.

Nas Tabelas 7 a 15 são apresentadas, os valores de MTTF para cada componente por subsistema.

Tabela 7 – Taxa de falha do subsistema de controle e supervisão

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)	MTTR - Estimado
AL2003	Painel de Automação	ALTA	IMPROVAVEL	5840	1,0	Sim
EIACP1	Sist. Contr. Monit. Distribuído	MEDIA	REMOTA	17520	1,0	Sim
INTERFACE I/O	Conversor de sinal	ALTA	REMOTA	17520	1,0	Sim
SLC500	Painel de Automação	MEDIA	REMOTA	17520	1,0	Sim

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Tabela 8 – Subsistema de Instrumentação geral da Estação de Injeção de Água de Carmópolis

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)
LV-CX API	Chave de Processo - Nível	ALTA	REMOTA	17520	1
PV-28	Válvula de controle	MEDIA	PROVAVEL	2920	7
PV-29A/B	Válvula de controle	MEDIA	PROVAVEL	2920	7
PV-56	Válvula de controle	ALTA	PROVAVEL	2920	40,00

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 9 – Subsistema das bombas

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)
B30	Bomba hidráulica	ALTA	REMOTA	17520,00	1,00
FT101	Transmissor de Fluxo (ou Vazão)	MEDIA	REMOTA	17520,00	3,00
MANCB30	Mancal	ALTA	IMPROVAVEL	5840,00	1,00
PIT059	Transmissor indicador de pressão	MEDIA	REMOTA	17520,00	1,00
PT-058	Transmissor de pressão	MEDIA	REMOTA	17520,00	1,00
SELB30	Selagem	MEDIA	IMPROVAVEL	5840,00	1,00

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 10 – Subsistema Motores das Bombas

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)
MOTORBKSB	Motor Elétrico de Uso Geral	Alta	IMPROVAVEL	5840,00	1
PN-3214.09-01B	Painel elétrico	Média	REMOTA	17520,00	1
RTD-LA/LOA-MOT	Transmissor	Média	REMOTA	17520,00	1

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 11 – Subsistema de Monitoração de Temperatura

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)
IHM	Interface Homem-Máquina (IHM)	Alta	REMOTA	17520,00	1
POWER TAP	Painel elétrico	Média	REMOTA	17520,00	1
SLC500 5/03	Controlador lógico programável	Média	REMOTA	17520,00	1

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 12 – Subsistema de Tancagem

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)
LSHH-04	Chave de Processo - Nível	Média	REMOTA	17520,00	1
PV-55	Válvula de controle	Média	REMOTA	17520,00	2
PV-57	Válvula de controle	Média	REMOTA	17520,00	2
TQ-3214.09-01	Tanque de Armazenamento	Alta	REMOTA	17520,00	3
TQ-3214.09-02	Tanque de Armazenamento	Alta	REMOTA	17520,00	1
TQ-3214.09-03	Tanque de Armazenamento	Média	REMOTA	17520,00	3

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 13 – Subsistema de Transferência de Água Produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de Água de Carmópolis

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)
LSHH-04	Chave de Processo - Nível	Média	REMOTA	17520,00	1
PV-55	Válvula de controle	Média	REMOTA	17520,00	2
PV-57	Válvula de controle	Média	REMOTA	17520,00	2
TQ-3214.09-01	Tanque de Armazenamento	Alta	REMOTA	17520,00	3
TQ-3214.09-02	Tanque de Armazenamento	Alta	REMOTA	17520,00	1
TQ-3214.09-03	Tanque de Armazenamento	Média	REMOTA	17520,00	3

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 14 – Subsistema de Ar Comprimido

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)
C-513401	Compressor rotativo de parafuso	Alta	IMPROVAVEL	5840,00	1
C-513402	Compressor rotativo de parafuso	Média	REMOTA	17520,00	1
PSV-51340101	Válvula segurança e alívio	Alta	REMOTA	17520,00	1
V-513401	Vaso de pressão	Média	REMOTA	17520,00	1

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 15 – Subsistema de utilidades Elétricas

COMPONENTE	CATEGORIA	RANK	PROBABILIDADE	MTTF (MCC NET)	MTTR (MCC NET)
RA-01	Resistor de aterramento	Média	REMOTA	17520,00	1
RA-02	Resistor de aterramento	Média	REMOTA	17520,00	1
RA-03	Resistor de aterramento	Média	REMOTA	17520,00	1
RA-04	Resistor de aterramento	Média	REMOTA	17520,00	1
RL-01	Religador de rede	Média	REMOTA	17520,00	1
RO-TF01	Relé de Proteção	Média	REMOTA	17520,00	1
RO-TF02	Relé de Proteção	Média	REMOTA	17520,00	1
RO-TF03	Relé de Proteção	Média	REMOTA	17520,00	1
RO-TF04	Relé de Proteção	Média	REMOTA	17520,00	1
TF-01	Transformador de Força	Alta	REMOTA	17520,00	1
TF-02	Transformador de Força	Alta	REMOTA	17520,00	1
TF-03	Transformador de Força	Alta	REMOTA	17520,00	1
TF-04	Transformador de Força	Alta	REMOTA	17520,00	1
TF-440V	Transformador de Força	Alta	REMOTA	17520,00	1

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Para fins de comparação, valores de taxas de falhas e de reparos, oriundos de OREDA (Offshore RELiability Data), foram aplicados ao modelo árvore de falhas existente.

OREDA é um projeto organizado e patrocinado por oito empresas de petróleo & gás com operações a nível mundial. Seu principal objetivo é recolher e trocar dados de confiabilidade entre as empresas participantes e atuar como um fórum de coordenação e gestão de confiabilidade para a coleta de dados dentro da

indústria petrolífera. OREDA representa hoje, um abrangente banco de dados sobre confiabilidade e manutenção de equipamentos, de exploração e produção, com informações oriundas de uma ampla variedade de áreas geográficas. Atualmente estão incluídos, neste banco de dados, não apenas equipamentos offshore, mas equipamentos onshore inclusive, com informações sobre instalações, equipamentos e tipos de condições de funcionamento.

As Tabelas 16 a 24 apresentam os valores adotados, para cada componente de cada subsistema.

Tabela 16 – Taxa de falha do subsistema de controle e supervisão

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTTR	FONTE
AL2003	6,69E+06	OREDA	3,7	OREDA
EIACP1	1,07E+07	OREDA	1	Estimado
INTERFACE I/O	1,69E+07	OREDA	3,6	OREDA
SLC500	5,00E+04	SMITH, DJ	1	Estimado

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 17 – Subsistema de Instrumentação geral da Estação de Injeção de Água de Carnópolis

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTTR	FONTE
LV-CX API	2,00E+05	SMITH, DJ	1	Estimado
PV-28	4,20E+05	OREDA	7	OREDA
PV-29A/B	4,20E+05	OREDA	7	OREDA
PV-56	4,20E+05	OREDA	7	OREDA

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 18 – Subsistema das bombas

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTTR	FONTE
B30	335345405,8	OREDA 2002	24,5	OREDA 2002
FT101	200000	SMITH, DJ	1	Estimado
MANCB30	1250000	OREDA 2002	14,5	OREDA 2002
PIT059	200000	SMITH, DJ	1	Estimado
PT-058	200000	SMITH, DJ	1	Estimado
SELB30	523043,1908	OREDA 2002	10,1	OREDA 2002

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/ 08-AIM/RJN)

Tabela 19 – Subsistema Motores das Bombas

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTTR	FONTE
MOTORBKSB	3,27E+05	OREDA 2002	30,5	OREDA 2002
PN-3214.09-01B	6,69E+06	OREDA 2002	3,7	OREDA 2002
RTD-LA/LOA-MOT	9,09E+06	OREDA 2002	8,7	OREDA 2002

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Tabela 20 – Subsistema de Monitoração de Temperatura

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTTR	FONTE
IHM	5,00E+04	SMITH, DJ	1	Estimado
POWER TAP	2,13E+07	OREDA 2002	1	Estimado
SLC500 5/03	5,00E+04	SMITH, DJ	1	Estimado

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Tabela 21 – Subsistema de Tancagem

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTTR	FONTE
LSHH-04	2,00E+05	SMITH, DJ	1	Petrobras
PV-55	4,20E+05	OREDA	7	OREDA
PV-57	4,20E+05	OREDA	7	OREDA
TQ-3214.09-01	2,00E+05	TNO	3	Petrobras
TQ-3214.09-02	2,00E+05	TNO	3	Petrobras
TQ-3214.09-03	2,00E+05	TNO	3	Petrobras

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Tabela 22 – Subsistema de Transferência de Água Produzida de Bonsucesso para a Estação de Injeção de Água de Carmópolis

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTTR	FONTE
B1/2/3/12	4,69E+05	OREDA 2002	24,5	OREDA 2002
FT-1251-0001	2,00E+05	SMITH, DJ	3	Petrobras
FT-3214-09-103	2,00E+05	SMITH, DJ	3	Petrobras
PNALTUSBSC	4,17E+08	OREDA 2002	1,8	OREDA 2002

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Tabela 23 – Subsistema de Ar Comprimido

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTTR	FONTE
C-513401	1,08E+08	OREDA 2002	5,5	OREDA 2002
C-513402	1,08E+08	OREDA 2002	5,5	OREDA 2002
PSV-51340101	4,07E+05	OREDA 2002	6,5	OREDA 2002
V-513401	2,00E+06	TNO	1	MCCnet

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Tabela 24 – Subsistema de utilidades Elétricas

COMPONENTE	MTTF	FONTE	MTRR	FONTE
RA-01	2,00E+08	SMITH, DJ	1	Petrobras
RA-02	2,00E+08	SMITH, DJ	1	Petrobras
RA-03	2,00E+08	SMITH, DJ	1	Petrobras
RA-04	2,00E+08	SMITH, DJ	1	Petrobras
RL-01	5,00E+05	SMITH, DJ	1	Petrobras
RO-TF01	5,24E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras
RO-TF02	5,24E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras
RO-TF03	5,24E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras
RO-TF04	5,24E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras
TF-01	3,95E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras
TF-02	3,95E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras
TF-03	3,95E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras
TF-04	3,95E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras
TF-440V	3,95E+05	PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA	1	Petrobras

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

#### 4.6.2 Resultados das análises

As informações das tabelas, mostradas anteriormente, foram utilizadas para alimentar o arquivo de modelagem da árvore de falhas. Os resultados obtidos estão apresentados nos gráficos a seguir.

O Gráfico 1 mostra que a probabilidade do sistema sobreviver sem falhas, a uma missão de 600 h (Confiabilidade), varia de 87 %, nas primeiras 60 horas, até 8 %, ao final do período, conforme representado pela curva vermelha.

A curva em vermelho representa o evento topo, que é a resultante das demais curvas relativas aos eventos básicos. Os eventos básicos referem-se à falha dos subsistemas e estão representados pelos 9 Gates.

Objetivando facilitar a visualização, apenas as curvas dos cinco primeiros eventos foram apresentadas no gráfico, juntamente com a curva representativa do evento topo (em vermelho). Para os gráficos seguintes, gerados pelo AvSim+ V10.0, adotou-se o mesmo procedimento.

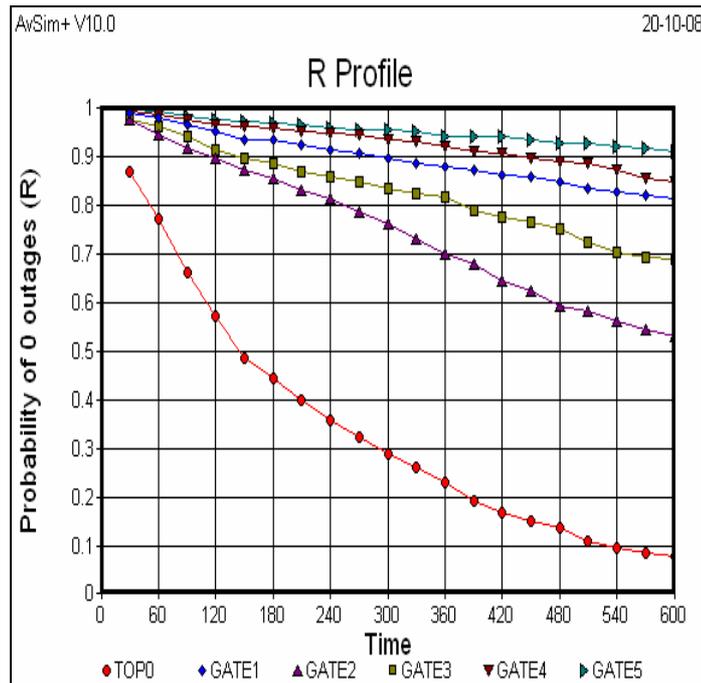


Gráfico 1 – Confiabilidade do sistema (R), para um tempo de 600h, com dados do grupo trabalho  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02727 /08-AIM/RJN)

No Gráfico 2 é apresentada a curva representativa da indisponibilidade calculada para o sistema. Nele verifica-se a ocorrência de um considerável aumento da indisponibilidade do sistema ao final de 600 horas, isto é, ocorre um aumento na probabilidade de falha do mesmo.

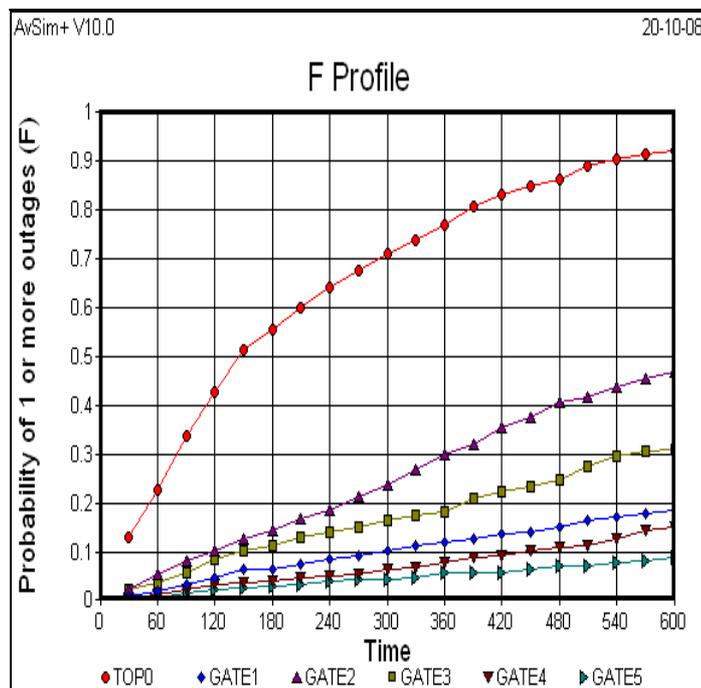


Gráfico 2 – Probabilidade de falha do sistema (F), para um tempo de 600h, com dados do grupo trabalho  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02727 /08-AIM/RJN)

O Gráfico 3 mostra que a probabilidade do sistema sobreviver sem falhas, a uma missão de 600 h (Confiabilidade), varia de 99 %, nas primeiras 60 horas, até 92 %, ao final do período, conforme representado pela curva vermelha. Analogamente aos gráficos anteriores, as demais curvas referem-se aos demais eventos (Gates) e objetivando facilitar a visualização, apenas as curvas referentes aos cinco primeiros eventos analisados foram representadas.

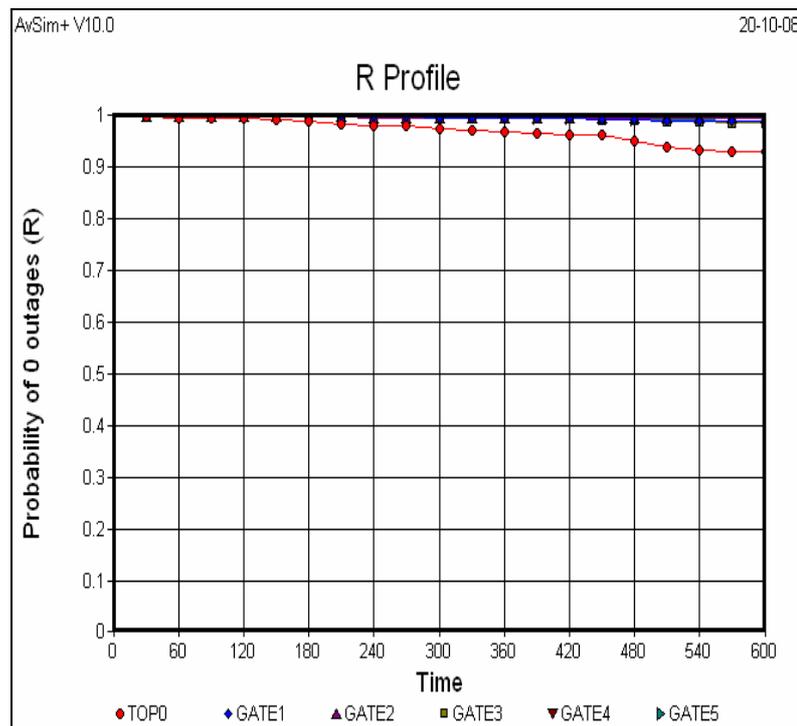


Gráfico 3 – Confiabilidade do sistema (R), para um tempo de 600h, com dados de OREDA  
Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

O Gráfico 4 apresenta a curva referente à probabilidade de ocorrência de ao menos uma falha funcional no período analisado. Varia de 1 %, nas primeiras 60 horas, até 8 %, ao final do período, conforme representado pela curva vermelha.

Vale ressaltar, que tanto o Gráfico 3 quanto o Gráfico 4, também foram obtidos através do estudo por árvore de falhas, realizado com o programa AvSim+ V10.0, entretanto, com base nos dados de OREDA.

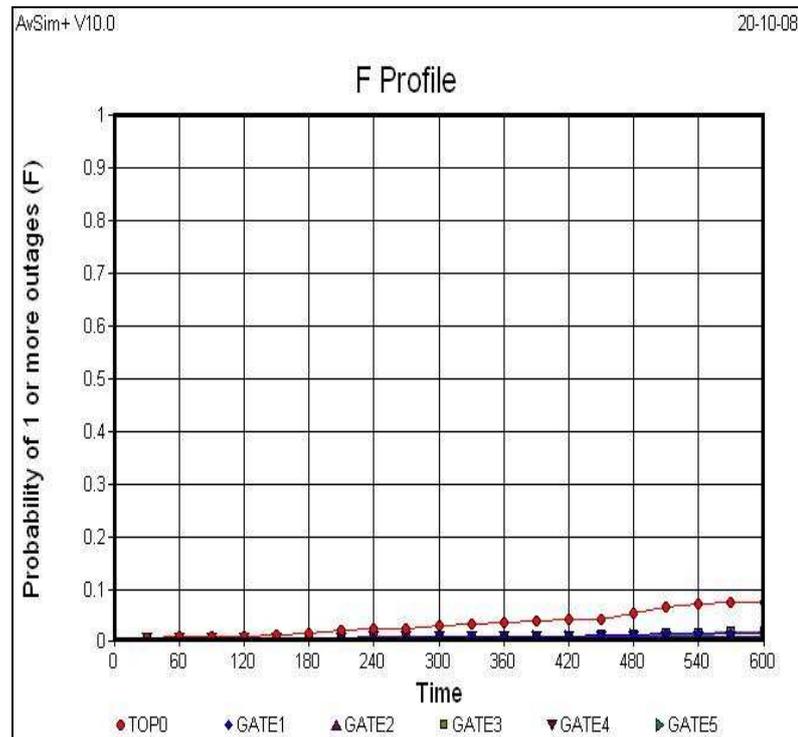


Gráfico 4 – Probabilidade de falha do sistema (F), para um tempo de 600h, com dados de OREDA  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

Os resultados obtidos na análise por árvore de falhas encontram-se representados nas Tabelas 25 e 26. Verifica-se, que a confiabilidade (probabilidade de sucesso) do referido sistema para uma missão de até 600 h sem falhas funcionais, calculada com dados oriundos do grupo de trabalho, variou de 87 %, para as primeiras 60 h da missão, até 8 %, ao final da missão. Entretanto, a confiabilidade do sistema, calculada para as mesmas 600 h de missão sem falhas funcionais, com dados oriundos de OREDA, variou de 99 % (probabilidade de sucesso), para as primeiras 60 h da missão, até 92 %, ao final da missão.

Tabela 25 – Resultados para um tempo de 600h (Dados: grupo trabalho)

Parâmetro	Resultados para t = 600 h
Disponibilidade Média	0,9796 (97,96%)
Probabilidade de zero falhas, Confiabilidade	0,0783 (7,83%)
Probabilidade de pelo menos 1 falha, F(t)	0,9217 (92,17%)
Número de Falhas Funcionais esperadas	2,49 (2,5)
Tempo médio entre as falhas, MTBF	240,80 h

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

Tabela 26 – Resultados para um tempo de 600h (Dados: OREDA)

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultados para t = 600 h</b>
Disponibilidade Média	0,9998 (99,98%)
Probabilidade de zero falhas, Confiabilidade	0,9316 (93,16%)
Probabilidade de pelo menos 1 falha, F(t)	0,0683 (6,83%)
Número de Falhas Funcionais esperadas	0,0733 (0,8)
Tempo médio entre as falhas, MTBF	8182 h

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

Comparando os resultados obtidos, o grupo de trabalho concluiu haver uma oportunidade de melhoria para o sistema analisado, variando em 12% (99% - 87%) para o início do ciclo, até 84% ao final do ciclo (92% - 8%). Neste ponto, o grupo de trabalho considerou ser este o resultado que se esperaria obter, após a implantação do plano de manutenção centrada em confiabilidade.

A disponibilidade média operacional variou de 97,96%, com taxas de reparo oriundas do grupo de trabalho, e até 99,98%, com dados oriundos de OREDA.

#### **4.7 Considerações Sobre o Estudo de Caso**

O grupo de trabalho analisou todos os modos de falhas identificados, para cada item componente do sistema de injeção de água, e determinou quais as tarefas de manutenção seriam candidatas a evitar a falha funcional do sistema. Avaliou a efetividade de cada tarefa, ponderando quanto à sua viabilidade técnica, e selecionou dentre elas, quais as mais eficientes, ou seja, as mais capazes de reduzir as conseqüências previstas para uma determinada falha, maximizando-se os recursos e minimizando-se os custos, e indicou-as para inclusão no plano de manutenção.

Após a seleção das tarefas indicadas, estas foram comparadas com as tarefas existentes no plano em vigor. Neste ponto do estudo, o grupo de trabalho indicou haver uma redução na quantidade de itens de manutenção baseados na condição e no tempo. Entretanto tal afirmação mostra-se equivocada, uma vez que, com base no estudo comparativo realizado, não se pode chegar a tal conclusão. Haja vista que, o estudo realizado compara tarefas do plano de manutenção

existente, com tarefas indicadas para inclusão no novo plano a ser gerado, portanto, não há uma comparação direta entre as tarefas dos planos gerado e existente.

Ainda em referência ao estudo comparativo dos planos de manutenção, verifica-se que, de acordo com as considerações do grupo de trabalho, o índice de manutenções corretivas contempladas pelo plano existente foi 0%. Considerando-se o caráter de imprevisibilidade, normalmente assumido por este tipo de manutenção, verifica-se a existência de grande dificuldade para sua inclusão em um planejamento de manutenção, sendo, portanto, realizada conforme a necessidade. Muito embora não indicadas no plano existente, tarefas de manutenção corretiva foram realizadas, devendo, portanto, serem consideradas para a realização de um estudo comparativo satisfatório. Os dados, referentes às manutenções corretivas realizadas, podem ser obtidos nos históricos das manutenções, obtendo-se inclusive, o ciclo esperado.

De todos os 242 itens analisados, nos dois planos, 101 itens foram indicados para exclusão no plano a ser gerado, dentre os quais, 6 são comuns aos dois planos, sendo, entretanto, de manutenção baseada no tempo para o plano existente, e de manutenção corretiva nas sugestões dadas pelo grupo de trabalho. Desta forma, o plano gerado possui 117 itens de manutenção ao todo, ao invés dos 114 declarados pelo grupo de trabalho. Além do mais, os itens de manutenção corretiva vão de 76 para 70, no novo plano. Constata-se, portanto, haver um considerável distanciamento numérico entre as tarefas sugeridas e o plano gerado, o que invalida o estudo comparativo realizado.

Após a definição das tarefas do plano de manutenção baseado em MCC, o grupo de trabalho criou uma árvore de falhas, na qual o evento topo era a falha funcional do sistema. Através desta árvore, foi realizado um estudo de confiabilidade, entretanto, os valores adotados para as taxas de falhas, basearam-se em critérios generalistas, e que acabaram por limitar o MTTF. Esta generalização mostra-se crítica para os componentes com taxa de falha classificada em uma das extremidades deste critério, ou seja, falha remota ou falha freqüente.

Por exemplo, componentes com taxa de falhas extremamente freqüentes, isto é, muito maior do que 4 falhas por anos, podem ser críticos para o sistema. Entretanto, segundo o critério adotado, a taxa de falha a ser utilizada para o cálculo do MTTF será igual 4, portanto, o MTTF obtido será igual à 2190 horas. Verifica-se, portanto, que este critério causa uma distorção nos resultados apresentados. Tal

distorção possibilita, inclusive, que componentes críticos ao sistema tornem-se imperceptíveis, quando na realização de um estudo de confiabilidade.

Ao final do estudo de confiabilidade, o grupo de trabalho concluiu que, após a implantação da MCC, o nível da confiabilidade esperada de se obter para o sistema, seria igual àquele calculado com dados oriundos de OREDA. Entretanto, após uma análise mais aprofundada, é possível constatar-se que tal conclusão esteja equivocada, tanto matematicamente quanto conceitualmente.

Primeiramente, em uma análise matemática da conclusão apresentada pelo grupo de trabalho, tem-se que, a frequência de falha de um determinado componente, influencia, de forma inversa, o valor de seu MTTF. Ou seja, quanto menor a taxa de falha maior o MTTF. Considerando-se este raciocínio, e adotando-se o mesmo critério utilizado pelo grupo de trabalho para a análise dos resultados, percebe-se que, a solução ótima é obtida, quando todos os itens analisados apresentarem taxa de falhas remota, o que acarretará um MTTF de 17.520 horas. Esta solução ótima é apresentada em três dos subsistemas analisados, são eles, tancagem, utilidades elétricas e monitoração da temperatura. Comparando-se estes resultados, com aqueles obtidos com dados oriundos de OREDA, percebe-se haver certo distanciamento, para os valores de MTTF apresentados. Isto dá, pois, o critério de avaliação adotado fixa o valor máximo do MTTF em 17.520 horas, portanto, resultados iguais àqueles, obtidos quando calculados com dados oriundos de OREDA, tornam-se inatingíveis.

As Tabelas 27, 28 e 29 apresentam uma comparação dos valores de MTTF obtidos, tanto para os critérios adotados pelo grupo de trabalho, quanto para dados oriundos de OREDA. Nestas, é apresentado, também, o percentual de variação entre os resultados.

Tabela 27 – MTTF comparação dos resultados obtidos – subsistema de tancagem

<b>SUBSISTEMA DE TANCAGEM</b>				
<b>COMPONENTE</b>	<b>PROBABILIDADE</b>	<b>MTTF (grupo de trabalho)</b>	<b>MTTF (OREDA)</b>	<b>VARIAÇÃO %</b>
LSHH-04	REMOTA	17520	200000	1141,55
PV-55	REMOTA	17520	420000	2397,26
PV-57	REMOTA	17520	420000	2397,26
TQ-3214 09-01	REMOTA	17520	200000	1141,55
TQ-3214 09-02	REMOTA	17520	200000	1141,55
TQ-3214 09-03	REMOTA	17520	200000	1141,55

Fonte: Adaptado de Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Tabela 28 – MTTF comparação dos resultados obtidos – subsistema de utilidades elétricas

<b>SUBSISTEMA DE UTILIDADES ELÉTRICA</b>				
<b>COMPONENTE</b>	<b>PROBABILIDADE</b>	<b>MTTF (grupo de trabalho)</b>	<b>MTTF (OREDA)</b>	<b>VARIAÇÃO %</b>
RA-01	REMOTA	17520	200000000	1141552,51
RA-02	REMOTA	17520	200000000	1141552,51
RA-03	REMOTA	17520	200000000	1141552,51
RA-04	REMOTA	17520	200000000	1141552,51
RL-01	REMOTA	17520	500000	2853,88
RO-TF01	REMOTA	17520	524000	2990,87
RO-TF02	REMOTA	17520	524000	2990,87
RO-TF03	REMOTA	17520	524000	2990,87
RO-TF04	REMOTA	17520	524000	2990,87
TF-01	REMOTA	17520	390000	2226,03
TF-02	REMOTA	17520	390000	2226,03
TF-03	REMOTA	17520	390000	2226,03
TF-04	REMOTA	17520	390000	2226,03
TF-440V	REMOTA	17520	390000	2226,03

Fonte: Adaptado de Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Tabela 29 – MTTF comparação dos resultados obtidos – subsistema de monitoração de temperatura

<b>SUBSISTEMA DE MONITORAÇÃO DE TEMPERATURA</b>				
<b>COMPONENTE</b>	<b>PROBABILIDADE</b>	<b>MTTF (grupo de trabalho)</b>	<b>MTTF (OREDA)</b>	<b>VARIAÇÃO %</b>
IHM	REMOTA	17520	50000	285,39
POWER TAP	REMOTA	17520	21300000	121575,34
SL C500 5/03	REMOTA	17520	50000	285,39

Fonte: Adaptado de Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727/08-AIM/RJN)

Nas Figuras 22 a 27 são apresentados os resultados para a simulação por árvore de falhas, para ambos os valores de MTTF analisados. Nestas, é possível observar, a influencia dos valores de MTTF para o cálculo da indisponibilidade média apresentada ( $Q_m$ ).

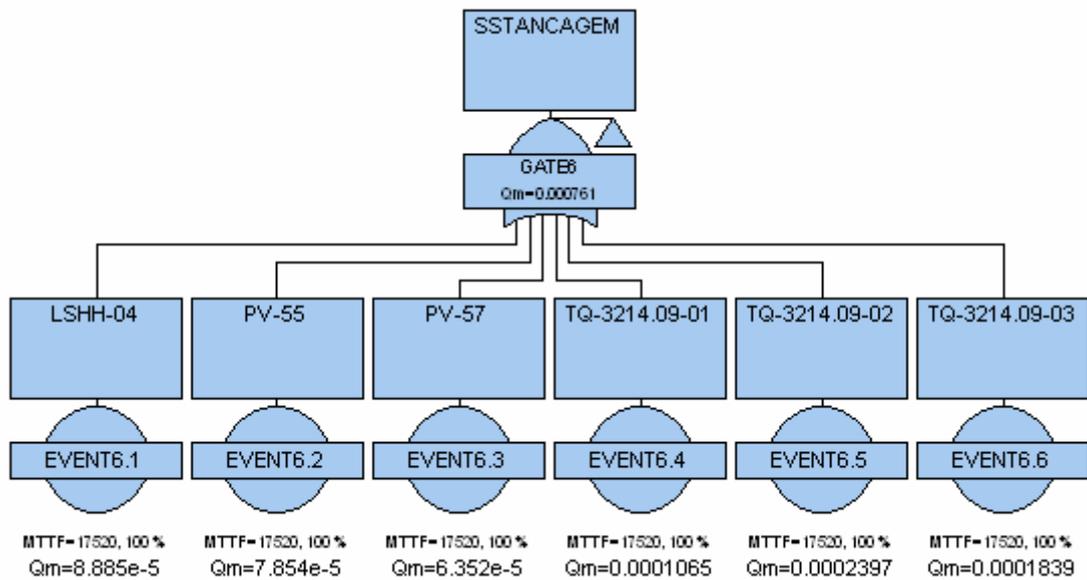


Figura 22 – Árvore de falhas do subsistema de tancagem (dados do grupo de trabalho).  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

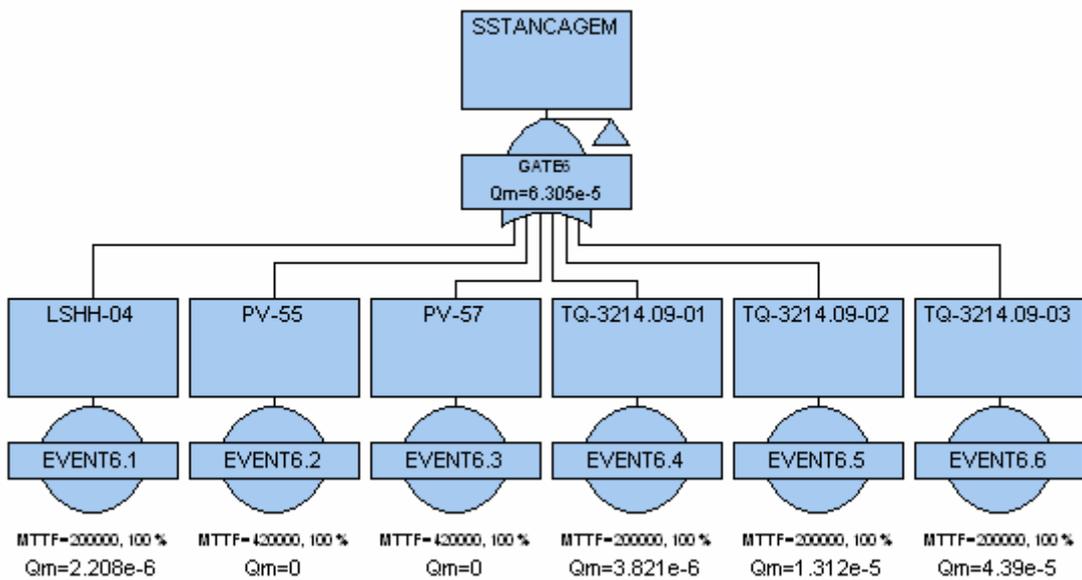


Figura 23 – Árvore de falhas do subsistema de tancagem (OREDA).  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

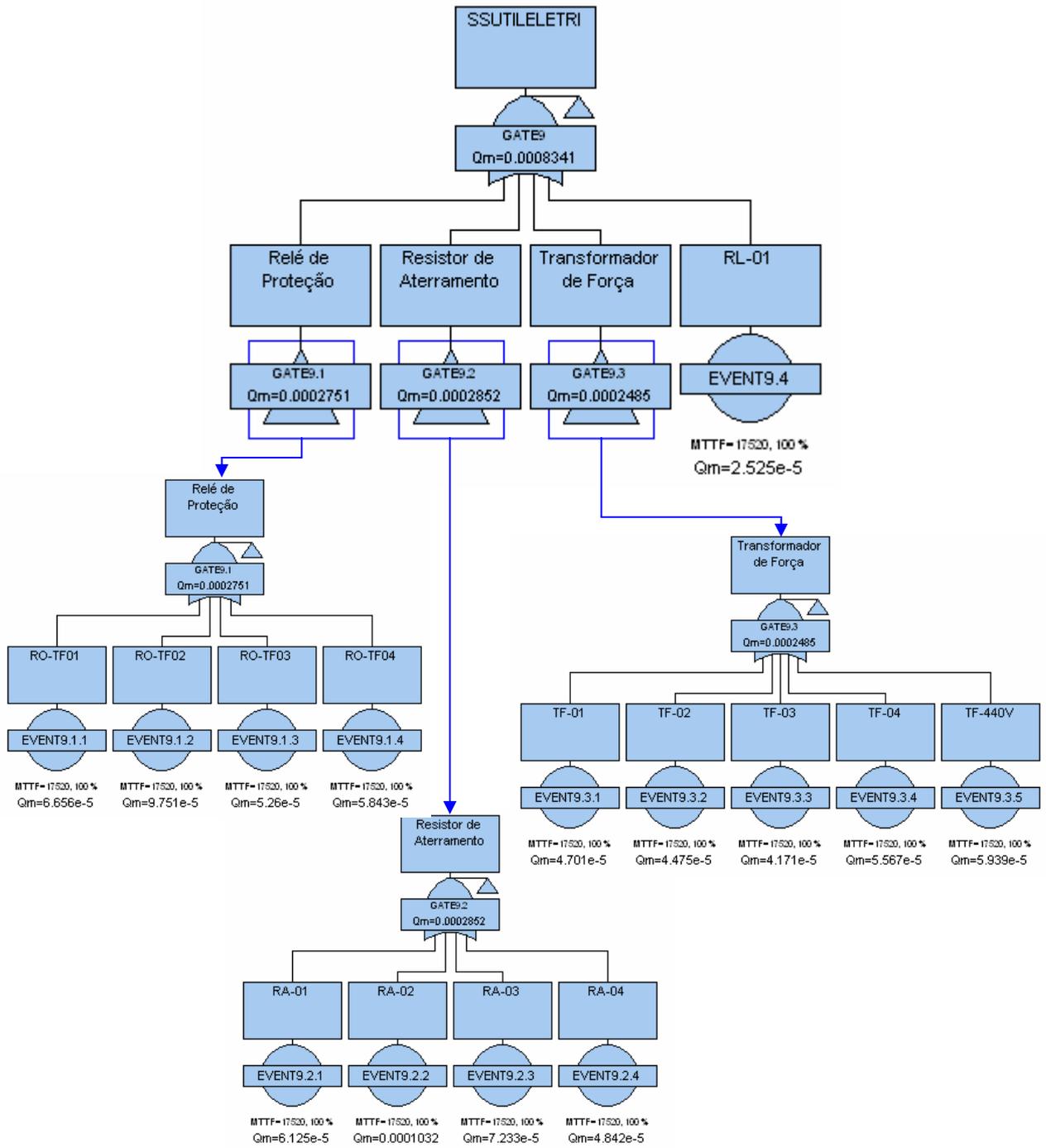


Figura 24 – Árvore de falhas do subsistema de utilidades elétricas (dados do grupo de trabalho).  
Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02727 /08-AIM/RJN)

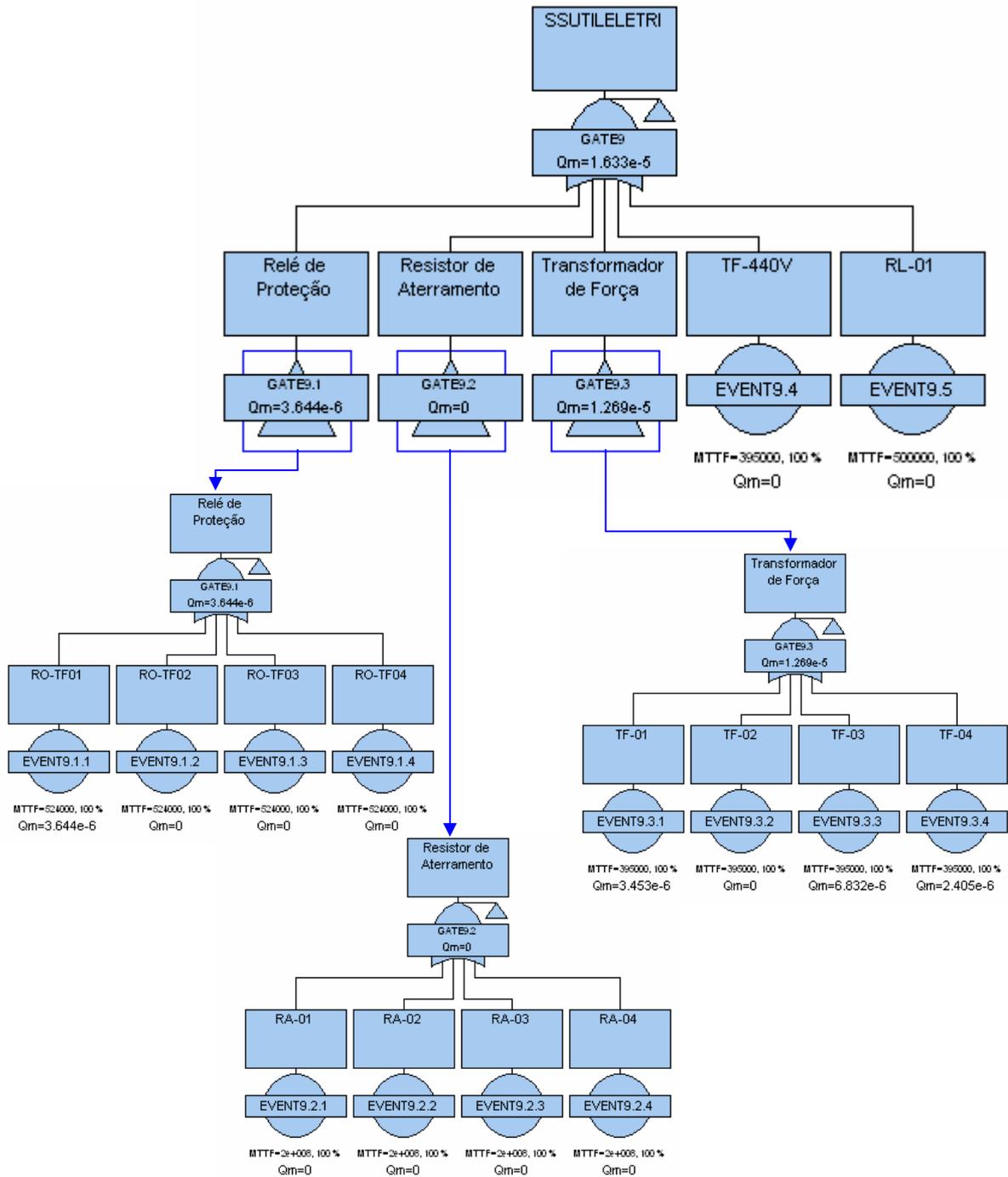


Figura 25 – Árvore de falhas do subsistema de utilidades elétricas (OREDA).  
 Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N° 02727 /08-AIM/RJN)

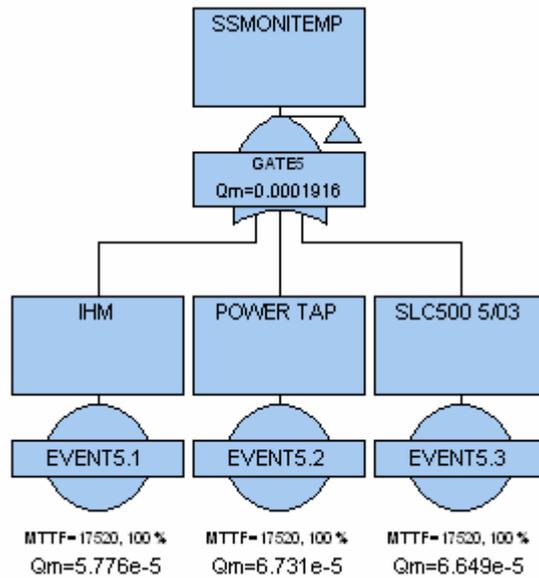


Figura 26 – Árvore de falhas do subsistema de monitoração da temperatura (dados do grupo de trabalho).

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

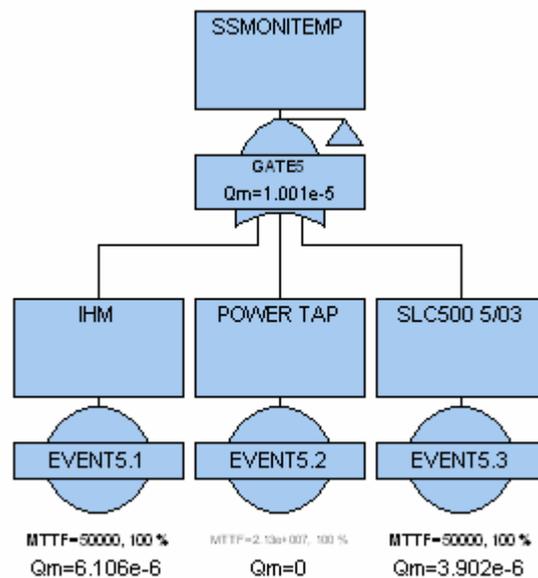


Figura 27 – Árvore de falhas do subsistema de monitoração da temperatura (OREDA).

Fonte: Bureau Veritas do Brasil (Relatório N°02727 /08-AIM/RJN)

Comparando-se os resultados da análise por árvore de falhas, percebe-se haver uma discrepância entre os valores de indisponibilidade apresentados. Verifica-se, portanto, que mesmo em condição ótima, os resultados obtidos, dentro dos critérios de avaliação adotados, não se equivalem àqueles calculados com dados oriundos de OREDA. Portanto, observa-se que, a conclusão apresentada pelo grupo de trabalho, ao final do estudo de confiabilidade, apresenta-se equivocada, pois, os

parâmetros de avaliação adotados limitam a confiabilidade máxima possível, localizado-a abaixo da almejada.

Com base nos resultados apresentados, percebe-se haver uma limitação para o estudo de confiabilidade do sistema, decorrente dos parâmetros de avaliação adotados. Portanto, para que o estudo de confiabilidade torne-se eficaz, faz-se necessária a adoção de novos critérios de avaliação, apresentando-se valores mais precisos para as taxas de falhas, evitando-se generalizações.

Agora, partindo-se para uma abordagem conceitual, verifica-se, que o nível de confiabilidade de um sistema deve ser determinado e não estimado. Considerando-se este princípio, e analisando-se os resultados apresentados, verifica-se que o nível de confiabilidade almejado não se apresenta claramente determinado pelo grupo de trabalho em qualquer parte do processo, constando apenas, que após a implantação da MCC, espera-se se obter, uma confiabilidade igual àquela apresentada para os dados de OREDA. Entretanto, apesar de sua conclusão, o grupo de trabalho não apresenta qualquer medida que possa garantir a obtenção deste resultado.

Por exemplo, considerando-se que devido a problemas relacionados à segurança industrial e meio ambiente, o nível de confiabilidade mínimo exigido para um determinado sistema seja 90%, operar com níveis de confiabilidade abaixo deste valor seria inaceitável. Entretanto, trabalhar com níveis de confiabilidade muito acima do exigido, também se mostra inadequado, podendo inclusive, ser um indicativo de que os prazos entre as manutenções apresentam-se demasiadamente próximos, o que acarreta um aumento nos custos.

Considerando-se que, o valor da confiabilidade de um sistema varia com tempo, temos, que a confiabilidade inicial, para a maioria dos sistemas, encontra-se próximo a 100% . Entretanto, com o passar do tempo, este valor vai decaindo, até que atinja um nível mínimo de confiabilidade determinado. Sabendo-se, qual nível mínimo de confiabilidade de um sistema, é possível determinar-se seu tempo de campanha, isto é, o tempo em que o sistema poderá operar dentro de níveis aceitáveis de confiabilidade. Desta forma, portanto, é possível determinar-se os prazos das manutenções, através da confiabilidade estipulada.

A confiabilidade de um sistema complexo é determinada pela soma das confiabilidades dos seus componentes. Neste ponto, verificasse que a árvore de falhas torna-se uma ferramenta auxiliar, para a determinação dos prazos de

manutenção de cada componente, e auxiliando também, na determinação dos prazos das paradas gerais para manutenção.

A confiabilidade de um sistema está diretamente relacionada à confiabilidade dos seus componentes, e da forma como estes interagem entre si. Componentes podem estar interligados, tanto em série como em paralelo, sendo possível ainda à existência de redundâncias. A árvore de falhas, apresentada pelo grupo de trabalho, indica as relações dos componentes e os níveis de confiabilidade apresentados para cada item, mostrando, inclusive, sua relação de influência para a confiabilidade geral do sistema.

Tendo-se estipulado qual a confiabilidade exigida para o sistema, é possível determinar-se, através da árvore de falhas, que periodicidade as manutenções devem apresentar, de tal modo a atender o nível de confiabilidade exigido. É possível também, verificar se a presente configuração existente no sistema permite que o nível de confiabilidade exigida seja alcançado. Desta forma, identificam-se, possíveis necessidades de reprojeto. Como, por exemplo, a inclusão de redundâncias, o que proporciona um aumento na confiabilidade. Ou, ainda, indicando a inserção de by-pass, o que permite que manutenções sejam realizadas sem a paralisação do sistema, garantindo assim a disponibilidade.

Outra maneira de se utilizar a árvore de falhas é para a identificação dos componentes não críticos de um sistema, e que, portanto, podem ter seus prazos de manutenção prolongados. Por exemplo, em uma parada geral, os recursos da manutenção seriam direcionados apenas para os componentes mais críticos. Desta forma, evitar-se-ia que recursos fossem gastos em manutenções desnecessárias.

Outro aspecto a ser considerado, é a utilização dos dados de OREDA. A comparativamente os valores de MTTF apresentados, para o sistema das bombas, observa-se que, o valor apresentado para o mancal da bomba 30, com dados do grupo de trabalho, possui probabilidade improvável de uma falha ocorrer, portanto o valor considerado para o MTTF é de 5.840 horas. Entretanto o mesmo componente, com dados oriundos de OREDA, apresenta valor de MTTF igual a 1.250.000 horas, portanto, muito superior. O valor apresentado para o MTTF do mancal, com dados oriundos do OREDA, mostra que o mesmo deve operar, por pelo menos 1.250.000 horas até falhar. Este, portanto, deve ser o desempenho mínimo esperado para um mancal, para que seja considerado aceitável em uma indústria. Um mancal que opere por apenas 5.840 horas até falhar, não deverá ser considerado aceitável e,

portanto, deverá ter seu fornecedor descredenciado. Este valor pode ser também, um indicativo de falha na especificação do mancal, indicando, portanto, a necessidade de reprojeto.

Em relação ao levantamento dos dados, verifica-se que os valores de MTTR apresentados para o mancal da bomba são de 14,50 horas, segundo OREDA, e 1,00 horas, segundo o grupo de trabalho. Estes valores mostram que, internacionalmente, leva-se 14h e 30min. para se realizar a manutenção em um mancal, em contra partida, na PETROBRAS, leva-se apenas 1h, para se realizar o mesmo tipo de manutenção. Esta discrepância de valores pode ser o indicativo de que equívocos tenham sido cometidos durante a determinação do MTTR, e que provavelmente seus valores tenham sido estimados, não retratando, portanto, a realidade da manutenção.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados neste estudo de caso, verifica-se que, ao final do processo de implantação da MCC na estação de injeção de água de oiterinhos, o grupo de trabalho, incumbido da realização desta implantação, apresentou o plano de manutenção e o estudo de confiabilidade do sistema.

Quanto ao processo de implantação, verifica-se primeiramente, que o nível de confiabilidade desejado para o sistema não fora determinado, entretanto, as etapas de avaliação dos modos de falhas e determinação das tarefas de manutenção a serem inseridas no plano, mostraram-se bastante coerentes.

Quanto ao plano de manutenção apresentado, este se mostra bastante coerente. Entretanto, durante o seu processo de elaboração, diversos equívocos foram cometidos, sem, no entanto, comprometer o seu valor. Contudo, quanto às periodicidades das manutenções, verifica-se haver uma possibilidade de otimização, utilizando-se os dados de OREDA juntamente com a árvore de falhas gerada, e considerando-se a confiabilidade determinada para o sistema.

Quanto ao estudo de confiabilidade, verifica-se que generalizações utilizadas durante a avaliação do sistema, provocaram distorções nos resultados apresentados. Entretanto, a árvore de falhas gerada apresenta-se válida, muito embora, a sua utilização tenha se dado de forma equivocada. É sugerido, portanto, que a mesma seja utilizada como ferramenta auxiliar, tanto na determinação das periodicidades das manutenções, quanto na verificação das criticidades dos componentes.

Considerando-se o caráter pioneiro do trabalho realizado, as informações geradas pelo grupo de trabalho cercam-se de grande valor, mesmo aquelas baseadas em decisões equivocadas. O conhecimento técnico adquirido neste processo permitirá, para os próximos trabalhos, que resultados melhores sejam obtidos, proporcionando um maior domínio das ferramentas utilizadas.

## REFERÊNCIAS

AFFONSO, L. O. A. **Equipamentos Mecânicos: análise de falhas e solução de problemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Documento Nacional 2007: a situação da manutenção no Brasil**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade: terminologia**. Rio de Janeiro, 1994.

BERGAMO FILHO, V. **Confiabilidade básica e prática: métodos para avaliar ou prever a qualidade de produtos ou sistemas ao longo do tempo, aproveitando os resultados como vantagem competitiva**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1997.

BUREAU VERITAS DO BRASIL. **Relatório N° 02726/08-AIM/RJN: Manutenção Centrada Em Confiabilidade: sistema de injeção de água da estação de Oiterinhos – Carmópolis: VOLUME I**. Rio de Janeiro, 2008. rev. 3.

BUREAU VERITAS DO BRASIL. **Relatório N° 02727/08-AIM/RJN: Estudo de Confiabilidade Aplicado ao Sistema de Injeção de Água da Estação de Oiterinhos – Carmópolis: VOLUME II**. Rio de Janeiro, 2008. rev. 0.

CORRÊA, O. L. S. **Petróleo: noções sobre exploração, perfuração, produção e micro biologia**. Rio de Janeiro: Interciência: 2003.

GURSKI, C. A. **Curso de formação de operadores de refinaria: noções de confiabilidade e manutenção industrial**. Curitiba: UNICENP (Centro Universitário Positivo), 2002. Apostila eletrônica.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A.N. **Manutenção: função estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 4. reimpr. 2007.

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J. A. D. **Engenharia de Reservatórios de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2006.

SIQUEIRA, I. Patriota de. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

THOMAS, J. E. Organizador. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2004.

VIANA, H. R. G. **PCM, Planejamento e controle de manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 1. reimpr. 2006.

KARDEC, A.; LAFRAIA, J. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002.