



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Elexandre da Silva

PROPOSTA DE MÉTODO PARA GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS
UTILIZANDO AS FERRAMENTAS FMEA E RCM

Rio de Janeiro
2012



UFRJ

Elexandre da Silva

PROPOSTA DE MÉTODO PARA GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS
UTILIZANDO AS FERRAMENTAS FMEA E RCM

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadores: Prof. Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, D.Sc e
Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

Rio de Janeiro

2012

Silva, Elexandre da

Proposta de método para gerenciamento de riscos ambientais utilizando as ferramentas FMEA e RCM /Elexandre da Silva. – 2012

105 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2012.

Orientadores: Isaac José Antonio Luquetti dos Santos e Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

1. Método. 2. Aspectos Ambientais. 3. Manutenção. 4. FMEA. 5. RCM. I. Luquetti dos Santos, Isaac José A. II. Carvalho, Paulo Victor Rodrigues. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. IV. Título.



UFRJ

PROPOSTA DE MÉTODO PARA GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS
UTILIZANDO AS FERRAMENTAS FMEA E RCM

Elexandre da Silva

Orientadores: Prof. Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, D.Sc. e
Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente: Prof. Isaac Antonio Luquetti dos Santos D. Sc PEA/UFRJ

Presidente: Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho. D.Sc. PEA/UFRJ

Eduardo Gonçalves Serra, D.Sc. PEA UFRJ

Antônio Carlos de Abreu Mól, D.Sc. UGF

Carlos Borges da Silva D.Sc. IEN/CNEN

Rio de Janeiro

2012

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, minha fortaleza, meu porto seguro. À minha família, esposa Daniele, filha Maria Julia que sempre estiveram ao meu lado, entendendo os momentos de ausência e exaustão, porém nunca me deixando desanimar. A meus pais Maria e José, irmã Elisangela, Gabi, Bisa e familiares que sempre me incentivaram a perseverar e a superar os desafios. Aos amigos que contribuíram direta ou indiretamente para o sucesso deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de ter chegado até aqui.

Aos meus orientadores, Isaac Luquetti e Paulo Victor Carvalho, que com vossa visão prática, ajudaram muito para que pudesse ter êxito neste projeto.

Ao PEA que foi uma excelente oportunidade para os profissionais da área e com certeza transformar-se-á em um divisor de águas na área ambiental.

EPÍGRAFE

“Conheça a verdade e ela te libertará.”

Jesus de Nazaré

RESUMO

SILVA, Elexandre da. **Proposta de método para gerenciamento de riscos ambientais utilizando as ferramentas FMEA e RCM**. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Em busca de uma gestão que atenda as premissas estabelecidas por requisitos da norma ISO 14001, as etapas referentes ao controle operacional estabelecem linha de corte tênue no que diz respeito à teoria e prática da gestão. Considerando que as referências normativas estabelecem o que "necessita ser realizado", todavia o "como se realiza" depende da filosofia da organização e principalmente de como fora implementado o sistema de gestão ambiental. Desde o mapeamento dos processos, que levam ao reconhecimento dos riscos relacionados ao mesmo, e da definição da metodologia a ser utilizada para estabelecimento dos graus de significância e/ou relevância, as organizações tendem a aplicar apenas os requisitos normativos, não ocorrendo o pleno aproveitamento acerca da oportunidade que o sistema de gestão proporciona da elevação do grau de autoconhecimento dos processos da organização, bem como suas interfaces e suas limitações frente a interferências. O objetivo deste trabalho é propor um método para gerenciamento de riscos ambientais através da inclusão das ferramentas FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) e RCM (Reliability Centered Maintenance), desde a fase de planejamento do sistema até o controle operacional. O método FMEA será utilizado na avaliação de aspectos ambientais e o RCM para controle de riscos de processos por meio da gestão de manutenção.

Palavras: Aspecto ambiental, RCM, FMEA, risco ambiental

ABSTRACT

SILVA, Elexandre da. **Proposta de método para gerenciamento de riscos ambientais utilizando as ferramentas FMEA e RCM.** Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Searching for a management that meets the requirements of the premises established by ISO 14001, the steps for establishing operational control sensible cutting line as regards the theory and practice of management. Whereas the normative references establish what "needs to be done", however the "as made" depends on the organization's philosophy and especially of how he had implemented environmental management system. Since the mapping of the processes that lead to recognition of the risks related thereto and defining the methodology to be used to establish the degree of significance and / or relevance, organizations tend to apply only the regulatory requirements and there was no full recovery about the opportunity that the management system provides the high degree of self-knowledge of the organization's processes and their interfaces and their limitations in the face of interference. The objective of this study is to propose a method for environmental risk management through the inclusion of tools FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) and RCM (Reliability Centered Maintenance), from initial planning to the operational control system. The FMEA method is used in the evaluation of environmental aspects and RCM for risk control processes by means of maintenance management.

Keywords: environmental aspects, RCM, FMEA, environmental risks

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Acidentes ambientais.....	31
Quadro 2 – Fases na execução da RCM	41
Quadro 3 – Classificação do aspecto quanto à situação temporal	45
Quadro 4 – Classificação do aspecto quanto a origem	46
Quadro 5 – Classificação do aspecto quanto a condição.....	46
Quadro 6 – Classificação do aspecto quanto a frequência/probabilidade	47
Quadro 7 – Classificação do aspecto quanto a severidade.....	47
Quadro 8 – Classificação do aspecto quanto existência de requisitos legais aplicáveis.....	48
Quadro 9 – Classificação do aspecto quanto existência de ocorrências de partes interessadas.....	48
Quadro 10 – Classificação dos controles relacionados aos aspectos	49
Quadro 11 – Relatório de Defeitos e Falhas.....	54
Quadro 12 - Acompanhamento do defeito.....	56
Quadro 13 – Exemplo de aplicação do Relatório de Defeitos e Falhas.....	56
Quadro 14 – Exemplo de aplicação do Acompanhamento de defeito	57
Quadro 15 - Diretrizes para classificar o índice de gravidade do impacto.....	62
Quadro 16 – Classificação da ocorrência de causa	63
Quadro 17 – Classificação quanto ao grau de detecção	63
Quadro 18 – Matriz de Criticidade	64
Quadro 19 - Classificação quanto a criticidade	65
Quadro 20 - Risco de falha.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de gerenciamento de riscos.	18
Figura 2 – Abordagem de gerenciamento de riscos	32
Figura 3 - Fluxo para elaboração da FMEA.....	36
Figura 4 – Aplicação de FMEA com foco em causa e consequência.....	40
Figura 5 – Sistemática de avaliação de aspectos ambientais	50
Figura 6 – Matriz de avaliação aspectos ambientais	50
Figura 7 – Fluxograma de análise de aspectos e riscos ambientais	61
Figura 8 – Metodologia de avaliação aspectos ambientais	61
Figura 9 – Metodologia de análise complementar para avaliação aspectos ambientais.....	62
Figura 10 - Fluxo de melhoria contínua RCM.....	66
Figura 11 - Atividade Aplicável e Eficaz	70
Figura 12 – Tratamento da Falha Oculta.....	71
Figura 13 – Revisão de projeto.....	72
Figura 14 – Aceitar o Risco	73
Figura 15 – Nenhuma ação preventiva.....	74
Figura 16 – Diagrama de decisão RCM	75
Figura 17 – Árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção	76
Figura 18 - Controlar a evolução da degeneração (utilizar o máximo de vida).....	77
Figura 19 – Evitar degeneração acelerada (garantir vida estimada)	77
Figura 20 – Detectar degeneração acelerada (atuar antes da falha)	78
Figura 21 – Classificação da manutenção em regimes	79
Figura 22 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 1	85
Figura 23 – Aplicação da árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção – Caso 1	85
Figura 24 – Aplicação da detecção de degeneração acelerada (atuar antes da falha) – Caso 1	86
Figura 25 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 2	87

Figura 26 – Aplicação da árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção – Caso 2	87
Figura 27 – Aplicação da detecção de degeneração acelerada (atuar antes da falha) – Caso 2.....	88
Figura 28 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 3	89
Figura 29 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 4	92
Figura 30 – Aplicação da árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção – Caso 4	92
Figura 31 – Aplicação da detecção de degeneração acelerada (atuar antes da falha) – Caso 4.....	93
Figura 32 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 5	94
Figura 33 – Aplicação da árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção – Caso 5	95
Figura 34 - Controlar a evolução da degeneração (utilizar o máximo de vida) – Caso 5	95
Figura 35 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 6	96

LISTA DE SIGLAS

FMEA: Análise de Modos e Efeitos de Falhas

RCM: Manutenção Centrada em Confiabilidade

ISO: International Organization for Standardization

FERMA: Federation of European Risk Management Associations

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR: Norma Brasileira

NASA: National Aeronautics and Space Administration

MSG: Maintenance Steering Groups

CBM: Manutenção preventiva baseada na condição

TDF: Teste para detecção de falhas

TBM: Manutenção preventiva baseada no tempo Sistema de Gestão Ambiental

FTA: Fault Tree Analysis

SGA: Sistema de Gestão Ambiental

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	21
1.3 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
1.4 RELEVÂNCIA.....	23
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO EMPÍRICA.....	25
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	25
2.2 A ABNT NBR ISO 14001:2004 – CONTROLE DE RISCOS AMBIENTAIS	26
2.2.1 Aspectos Ambientais – Identificação e Avaliação de Aspectos.....	27
2.2.2 Controle Operacional	27
2.3 GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS	29
2.3.1 FMEA – Análise de modos e efeitos de falha	33
2.3.2 RCM – Manutenção centrada em confiabilidade.....	36
2.4 OPERACIONALIDADE ENTRE FMEA E RCM.....	39
3 MÉTODO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS.....	42
3.1 REVISÃO DAS PRÁTICAS E PROCEDIMENTOS DE IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS	42
3.1.1 Identificação dos aspectos e impactos ambientais.....	43
3.1.2 Método de avaliação de aspectos e ambientais	43
3.1.3 Identificação dos requisitos legais	44
3.1.4 Detalhamento dos aspectos e impactos ambientais.....	44

3.1.4.1 Aspectos Ambientais	44
3.1.4.2 Impactos Ambientais	45
3.1.5 Classificação dos aspectos ambientais	45
3.1.5.1 Quanto a Situação Temporal.....	45
3.1.5.2 Quanto a Origem	46
3.1.5.3 Quanto a Condição.....	46
3.1.6 Análise e valoração de aspectos ambientais	46
3.1.7 Definição da significância.....	48
3.1.8 Implementação de controles relacionados aos aspectos ambientais	49
3.1.9 Fluxograma	49
3.2 REVISÃO DAS PRÁTICAS E PROCEDIMENTOS DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO.....	51
4 PROPOSTA DE MÉTODO PARA GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS UTILIZANDO AS FERRAMENTAS ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA - FMEA E MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - RCM.....	58
4.1 APLICAÇÃO DE FMEA PARA IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS	59
4.2 APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	66
4.2.1 Definição de Ações para Implementação do Sistema de Gerenciamento de Manutenção Centrada na Confiabilidade	67
5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO EM SISTEMAS OPERACIONAIS DO SETOR DE ENERGIA E EFLUENTES DE UM EMPRESA DO SEGMENTO DE UTILIDADES.....	82
5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UMA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	82
5.1.1 Cenários de risco ambiental relacionado a unidade de subestação de energia elétrica	82

5.1.2 Aplicação do método proposto para análise de risco ambiental relacionado a falhas de sistemas em unidades de subestações de energia elétrica.....	84
5.1.2.1 Caso 1	84
5.1.2.2 Caso 2	86
5.1.2.3 Caso 3	88
5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UMA UNIDADE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	89
5.2.1 Cenários de risco ambiental relacionado a unidades de estações de tratamento de água	89
5.2.2 Risco ambiental relacionado a falhas de sistemas em estações de tratamento de água	91
5.2.2.1 Caso 4	91
5.2.2.2 Caso 5	93
5.2.2.3 Caso 6	95
6 CONCLUSÃO	97
6.1 SÍNTESE	98
6.2 TRABALHOS FUTUROS	98
REFERÊNCIAS.....	100
ANEXOS	105

1 INTRODUÇÃO

Tem se tornado crescente o número de organizações que buscam a certificação de seu sistema de gestão ambiental com base na norma ABNT NBR ISO 14001:2004.

Contudo, dentro do contexto de segurança ambiental, as diversas sistemáticas definidas em conformidade aos requisitos da norma, principalmente nas fases de planejamento e implementação, não garantem a plena integração dos diversos setores da organização. Com este foco observam-se diversas oportunidades de aproveitamento do efeito sinérgico das ações desenvolvidas pelos diversos setores de uma organização com o objetivo principal de promover maior segurança ambiental de seus processos, otimizando recursos e promovendo maior permeância dos diversos atores no sistema de gestão ambiental.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O risco traduz a incerteza e o seu impacto. A incerteza, por si só, não conduz ao risco, é a incerteza aliada ao impacto das consequências que leva a situações de risco (FERREIRA, 2008).

Conforme Felix (2009) neste contexto alguns conceitos são importantes:

Perigo – Propriedade intrínseca de um material, ou uma situação física, com potencial para resultar em danos que podem prejudicar a saúde das pessoas, o ambiente e economia.

Um perigo não conduz necessariamente a danos, mas a existência de um perigo significa a possibilidade de ocorrerem danos. Em análise de risco, o termo anglo-saxônico hazard é mais abrangente do que a palavra portuguesa. Hazard, significa perigo, mas também fonte de perigo e tem a sua raiz na palavra árabe alazar que se traduz como morte.

Risco – A possibilidade de uma ocorrência com impacto nos objetivos. Quando existe uma fonte de perigo e não existem proteções à exposição a esse perigo, há a possibilidade de ocorrerem perdas ou danos, que podem ser humanas,

sociais, ambientais, económicas e patrimoniais entre outras. Habitualmente o risco está associado à possibilidade de um acontecimento indesejável, com consequências negativas específicas, se ocorrer num período específico de tempo ou em circunstâncias específicas.

O risco é tipicamente especificado pelo produto da possibilidade de um acontecimento ocorrer e das consequências que daí pode advir. A possibilidade de uma ocorrência descreve-se em termos de probabilidade ou de frequência.

Processo de gerenciamento de riscos

Segundo a Norma de Gestão de Riscos – FERMA (2003) a gestão de riscos é um elemento central na gestão da estratégia de qualquer organização. É o processo através do qual as organizações analisam metodicamente os riscos inerentes às respectivas atividades, com o objetivo de atingirem uma vantagem sustentada em cada atividade individual e no conjunto de todas as atividades.

O ponto central de uma boa gestão de riscos é a identificação e tratamento dos mesmos. O seu objetivo é o de acrescentar valor de forma sustentada a todas as atividades da organização. Coordena a interpretação dos potenciais aspectos positivos e negativos de todos os fatores que podem afetar a organização. Aumenta a probabilidade de êxito e reduz tanto a probabilidade de fracasso como a incerteza da obtenção de todos os objetivos globais da organização.

A gestão de riscos deve ser um processo contínuo e em constante desenvolvimento aplicado à estratégia da organização e a implementação dessa mesma estratégia. Deve analisar metodicamente todos os riscos inerentes às atividades passadas, presentes e, em especial, futuras de uma organização.

Deve ser integrada na cultura da organização com uma política eficaz e um programa conduzido pela direção de topo. Deve traduzir a estratégia em objetivos táticos e operacionais, atribuindo responsabilidades na gestão dos riscos por toda a organização, como parte integrante da respectiva descrição de funções. Esta prática sustenta a responsabilização, a avaliação do desempenho e respectiva recompensa, promovendo desta forma a eficiência operacional em todos os níveis da organização.

A gestão de riscos protege e acrescenta valor à organização e aos diversos intervenientes, apoiando os objetivos da organização com:

- a) a criação de uma estrutura na organização que permita que a atividade futura se desenvolva de forma consistente e controlada;
- b) a melhoria da tomada de decisões, do planejamento e da definição de prioridades, através da interpretação abrangente e estruturada da atividade do negócio, da volatilidade dos resultados e das oportunidades/ameaças do projeto;
- c) a contribuição para uma utilização/atribuição mais eficiente do capital e dos recursos dentro da organização;
- d) a redução da volatilidade em áreas de negócio não essenciais;
- e) a proteção e melhoria dos ativos e da imagem da empresa;
- e) o desenvolvimento e apoio à base de conhecimentos das pessoas e da organização;
- f) a otimização da eficiência operacional.

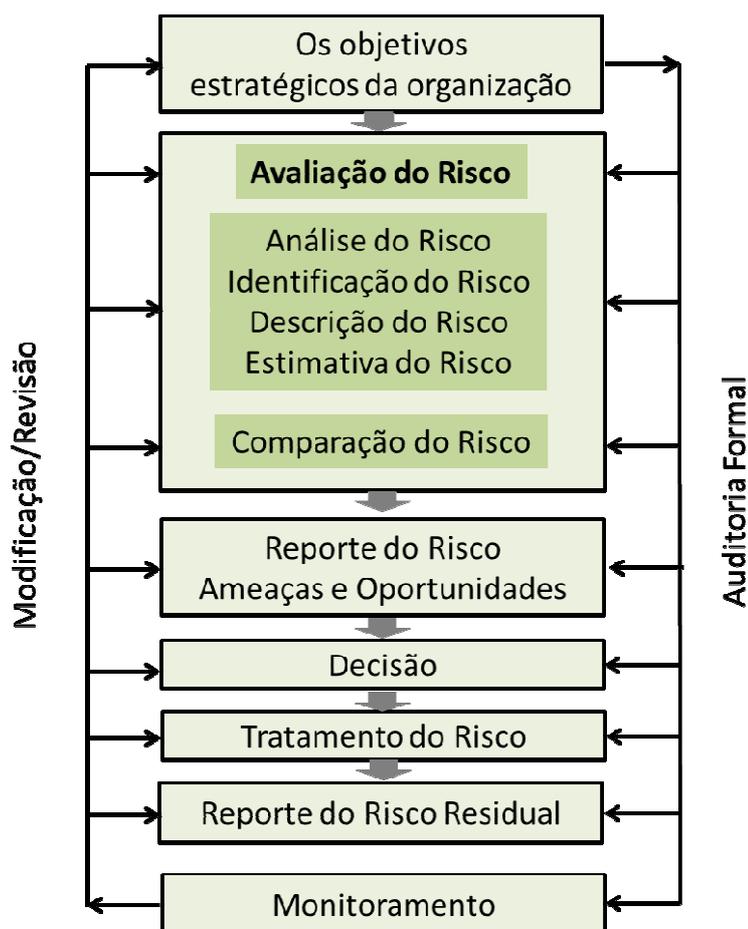


Figura 1 - Processo de gerenciamento de riscos.
Adaptado de FERMA (2003)

Para implementação de um processo de gestão e análise de riscos é importante a compreensão das etapas que o compõem, bem como os conceitos relacionados (SERPA, 2006).

Análise de Riscos

Atividade voltada para o desenvolvimento de uma estimativa, qualitativa ou quantitativa, do risco, baseada na engenharia de avaliação e em técnicas estruturadas para promover a combinação das frequências e consequências de um acidente.

Avaliação de Riscos

Processo que utiliza os resultados da análise de riscos para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos riscos, através da comparação com critérios de tolerabilidade de riscos previamente estabelecidos.

A definição do risco admissível depende do contexto em questão e de outros fatores. Num contexto social, é definido pela sociedade e legislação em vigor, no contexto empresarial, para além da legislação, é também determinado por normas, códigos de boas práticas, montantes dos prêmios de seguros, inspeção e fiscalização, entre outros. Num contexto meramente pessoal, têm em conta os valores morais, religiosos, políticos e/ou de consciência.

O “risco ecológico”, para o sociólogo alemão Ulrich Beck (1992), resulta da potência disruptiva (revolucionária- da tecnologia), como culminância de um processo de dominação técnico-científica da racionalidade instrumental .

Segundo Beck (1992), sociedade é destrutível por suas tecnologias e confronta-se reflexivamente com as consequências indesejáveis de sua própria dinâmica reprodutiva. O risco técnico contemporâneo chega, de acordo com o autor, a redefinir o próprio social, o que permite a Beck configurar sua teoria da sociedade de risco, segundo a qual o risco é o princípio axial de organização do social, e o conhecimento é o princípio axial do risco.

A Engenharia de Resiliência enfatiza o paradigma de gestão da segurança que se concentra em como ajudar as organizações a lidar com a pressão da complexidade para alcançar o sucesso.

Os primeiros passos no desenvolvimento de uma prática de Engenharia de Resiliência concentram-se sobre métodos e ferramentas a saber:

- analisar, medir e monitorar a resistência das organizações em seu ambiente operacional;
- melhorar a resiliência de uma organização frente ao meio ambiente;
- modelar e prever os efeitos de curto e longo prazo das mudanças e as linhas de decisões gerenciais sobre a resiliência e, portanto, no risco.

Resiliência diz respeito à capacidade de reconhecer e adaptar-se a lidar com perturbações imprevistas que põem em *check* o modelo de competência e demanda uma mudança de processos, estratégias e coordenação.

Esta definição nos dá razão para acreditar que é mais fácil se recuperar de um potencial desequilíbrio se o mesmo for detectado precocemente (HOLLNAGEL, WOODS & LEVESON, 2006).

Baseado nestes conceitos de risco apresentados, os setores produtivos têm ao longo das últimas décadas proporcionado enormes avanços no que tange à utilização e ao desenvolvimento de tecnologias, otimização de recursos e aumento de confiabilidade de suas instalações.

Embora este avanço esteja sendo significativo, falhas continuam ocorrendo, trazendo consigo graves consequências para as organizações e principalmente para o meio ambiente.

Nesta dinâmica, as organizações são desafiadas a antecipar e responder ao controle de riscos onde muitas das vezes a complexidade dos próprios processos tem o potencial de dificultar a segurança dos sistemas.

Conforme Hollnagel (2007), risco e segurança estão ligados conceitualmente e de forma pragmática. A ligação conceitual pode ser vista comparando-se definições dos dois conceitos. Risco, por exemplo, é normalmente definida como a probabilidade de que algo indesejada pode acontecer. A segurança é igualmente definido como a ausência de eventos indesejados, significando essencialmente a ausência de risco. A ligação pragmática espelha essa reciprocidade, como visto, a partir do fato de que a segurança - ou melhor, a falta dela - geralmente é medida pelo número de determinados eventos indesejáveis, tais como acidentes e incidentes.

Um nível mais elevado de segurança é equivalente a uma menor ocorrência de tais eventos e, portanto, a um nível mais baixo de risco.

É uma consequência inevitável de perto essas definições que a melhor maneira de garantir um estado de segurança ou é para evitar que algo indesejado do acontecimento ou para proteger contra as suas consequências.

Uma vez que, na prática, é impossível evitar completamente os eventos indesejados, isto é, eliminar completamente os riscos, as duas abordagens são melhor utilizadas em conjunto.

Aliado a esta vertente e objetivando aumentar a segurança de sistemas e, conseqüentemente, das organizações com base na redução dos riscos, será enfocada, neste projeto, a proposta de método de gerenciamento de risco ambiental que utiliza ferramentas de análise de risco, mais precisamente o FMEA – Análise de Modos de Falhas e Efeitos, na fase de planejamento para implementação de um sistema de gestão ambiental, relacionando-o com a técnica de RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade, aproveitando o link da necessidade de se estabelecer controle operacional para os aspectos levantados e classificados.

1.2 JUSTIFICATIVA

Apesar do número crescente de organizações que têm obtido e/ou mantido a certificação de seu sistema de gestão ambiental conforme a ABNT NBR ISO 14001:2004, alguns requisitos possuem um enorme potencial de melhoria contínua no ponto de vista de aproveitamento potencial de sinergia do atendimento ao requisito e sua aplicabilidade prática em diversas oportunidades.

Com o atendimento aos requisitos 4.3.1 - Aspectos ambientais e o 4.4.6 - Controle operacional, muitas vezes o que encontramos são interfaces muito superficiais, onde são estabelecidas sistemáticas de controle, porém sua abrangência e permeância nos processos da organização não são verificadas com muita frequência.

Justifica-se então a associação de ferramentas de gestão que permitam o aproveitamento deste potencial. A utilização do FMEA na fase inicial de mapeamento dos aspectos ambientais e definição de sua significância norteia a

aplicação de controles mais efetivos relativos a demandas de manutenção de sistemas críticos do ponto de vista do risco ambiental, abrindo caminho para a aplicação do RCM com ênfase em tais sistemas.

Diversos são os ganhos para a organização com a associação destas ferramentas, porém dois pontos merecem destaque:

- a) Promove imersão para os atores envolvidos, pois os insere na filosofia adotada pela organização desde a fase de mapeamento inicial do sistema de gestão ambiental até as etapas de maior detalhamento no sistema de gestão da manutenção baseada no RCM;
- b) Pleno conhecimento dos riscos a segurança ambiental da organização, sua relevância e criticidade e a possibilidade de promover uma gestão baseada nos mesmos.

1.3 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem o objetivo geral de propor um método que de gerenciamento de riscos ambientais baseado na aplicação das ferramentas de gestão FMEA – Análise de modos de falhas e efeitos e RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade.

A utilização do FMEA já na fase de identificação e avaliação de aspectos ambientais fornece subsídios para o estabelecimento de controles para estes riscos, também apoiando na definição dos sistemas e elementos de sistema de maior criticidade. Tais resultados podem ser utilizados como entrada para utilização do RCM no estabelecimento de controles, tendo como vantagem a otimização de recursos, uma vez que a etapa inicial já fora realizada.

Como oportunidade de estudos posteriores apresenta-se a possibilidade de gestão de riscos de produção e segurança operacional, por meio de associações destas ferramentas iniciando o FMEA nas fases de mapeamento de processos e avaliação de perigos e riscos, respectivamente.

Como objetivo específico deste trabalho, busca-se disponibilizar um método capaz de identificar e avaliar os aspectos ambientais relacionados a falhas de sistemas funcionais de uma organização e planejar o controle operacional baseado

na criticidade de tais riscos por meio do sistema de gerenciamento de manutenção. Utilizando a técnica da FMEA na fase de identificação de riscos é possível direcionar a análise de falhas de forma a realizar a avaliação de criticidade, conforme o método proposto derivado de Manutenção Centrada em Confiabilidade – RCM e a partir daí realizar o gerenciamento dos riscos por meio de tarefas de manutenção preventiva específicas que são parte integrante de um plano estruturado adequadamente.

1.4 RELEVÂNCIA

Apesar de inúmeras organizações que possuem certificação ISO 14001:2004 apresentarem bons números do ponto de vista de desempenho ambiental, o que ainda temos encontrado são documentos muitas vezes apresentados em forma de procedimentos operacionais que não envolvem todas as etapas dos processos de forma prática.

Os diversos setores de uma organização figuram como atores importantes que, se trabalhando em conjunto, viabilizam o aproveitamento do efeito sinérgico de diversas atividades desenvolvidas, ainda não assim o fazem. Os trabalhos são realizados de forma compartimentada com foco específico no resultado, sem a visão holística necessária.

Destaca-se então a relevância de se permear as diversas sistemáticas de controle estabelecidas na organização a todos os atores com maior ou menor participação, a fim de se obter uma maior otimização dos recursos utilizados e um melhor resultado do ponto de vista de desempenho ambiental e confiabilidade de sistemas críticos ao meio ambiente.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Conforme Cervo e Bervian (2002), as pesquisas científicas podem ser classificadas pela sua natureza, sua forma de abordagem, pelo caráter dos objetivos e dos procedimentos técnicos adotados. Este trabalho é classificado, quanto à sua natureza, como aplicado, ou seja, os conhecimentos aqui gerados são aplicáveis em

uma situação prática. Quanto à forma de abordagem, classifica-se este trabalho como qualitativo. Com respeito aos objetivos, estes podem ser classificados como práticos, porque, a partir da exploração do funcionamento, entradas e saídas de RCM e FMEA, propõe-se uma nova abordagem para sua integração. Em relação aos procedimentos técnicos para coleta de informações, o trabalho baseia-se em pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

Após a introdução do tema desta dissertação segue, no Capítulo 2, a Fundamentação Teórico-Empírica, onde são tratadas as questões que dão base estrutural ao estudo, quanto aos conceitos relacionados ao sistema de gestão ambiental e utilização das ferramentas FMEA e RCM com suas correspondentes definições de base conceitual.

No Capítulo 3 descreve-se o método da pesquisa, a partir da motivação inicial, a ênfase e linha de pesquisa para alcançar os objetivos, e as etapas percorridas, com seus respectivos passos, para a aplicação do método de forma prática.

No capítulo 4 apresenta-se uma abordagem prática que sugere um diagnóstico da situação atual frente à gestão dos riscos ambientais do contexto do estudo, viabilizando a aplicação da metodologia proposta tendo sido utilizado como exemplo uma organização a qual chamaremos de Organização A, mais precisamente seu setor de utilidades, onde foram focados dois processos: uma unidade de subestação de energia elétrica e uma estação de tratamento de água. Esta fase se torna importante, pois permite a avaliação clara da permeância e aplicabilidade do método.

No capítulo 5 são apresentados alguns exemplos de aplicação da metodologia proposta nas unidades funcionais mencionadas. Observa-se a intenção de se testar a metodologia com uma abrangência de contornos relevantes devido às distintas particularidades dos sistemas operacionais escolhidos para o estudo, indicando-se assim o potencial exploratório da proposta.

O Capítulo 6 apresenta as considerações finais da dissertação, pela análise dos resultados, sugerindo possibilidades de melhoria e de trabalhos futuros, concluindo com as Referências e Anexos citados ao longo do texto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO EMPÍRICA

Frente a um cenário cada vez mais competitivo, as organizações que buscam implementar ou manter um sistema de gestão ambiental possuem um grande desafio que é difundir em sua filosofia as diversas sistemáticas do SGA nas atividades dos setores, aproveitando todo o potencial das equipes, que dentro de seu contexto de atuação tem papel importante no desempenho global da organização. Destaca-se, neste processo, o setor de manutenção, que é um aliado da maior relevância onde observamos um viés de garantia da conformidade com os requisitos operacionais com interface ambiental, uma vez que muitos dos sistemas funcionais desempenham tal função, e o ato de manter esta funcionalidade tem por consequência a melhoria da confiabilidade do sistema e do desempenho ambiental da organização.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Entende-se por impacto ambiental , segundo expresso no Artigo 1º da resolução CONAMA nº 001/86 (BRASIL, 1986):

...qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Neste contexto surgem os diversos e específicos requisitos legais que consideram o potencial de impacto ambiental das atividades potencialmente poluidoras, cabendo às organizações responsáveis pelas mesmas prover medidas de controle fazendo com que seus aspectos ambientais atendam às especificações

previstas por legislação específica. Tais medidas visam garantir, além da continuidade operacional dos empreendimentos (visto que são previstas no processo de licenciamento ambiental), a prevenção à poluição. Organizações que possuem seu sistema de gestão ambiental certificado conforme a ABNT NBR ISO 14001:2004 devem explicitar em sua política ambiental este compromisso, que está atrelado a todos os outros requisitos.

Deste modo entendemos como imprescindível a aplicação de metodologias que promovam a aplicação das diversas técnicas e controles de forma eficaz a fim de atingir os objetivos relacionados ao sistema de gestão ambiental obtido pela contribuição dos diversos setores da organização.

2.2 A ABNT NBR ISO 14001:2004 – CONTROLE DE RISCOS AMBIENTAIS

Organizações de todos os tipos estão cada vez mais preocupadas em atingir e demonstrar um desempenho ambiental correto, por meio do controle dos impactos de suas atividades, produtos e serviços sobre o meio ambiente, coerente com sua política e seus objetivos ambientais. Agem, assim, dentro de um contexto de legislação, cada vez mais exigente, do desenvolvimento de políticas econômicas, e outras medidas visando aprimorar a proteção do meio ambiente e, uma crescente preocupação expressa pelas partes interessadas em relação às questões ambientais e ao desenvolvimento sustentável (ABNT, 2004).

Aliado a estes compromissos necessários para se certificar o sistema de gestão ambiental conforme a ABNT NBR ISO 14001:2004, apresenta-se o desafio de se promover a conscientização e a interação de todos os setores e níveis hierárquicos da organização. Responsabilidades e autoridades necessitam estar bem definidos dentro da estrutura organizacional e seus recursos alocados de maneira coerente.

Torna-se, portanto, um grande desafio permear as diversas sistemáticas em uma engrenagem que está em funcionamento, com seus objetivos definidos e forma de atuação incorporada à sua realidade.

2.2.1 Aspectos Ambientais – Identificação e Avaliação de Aspectos

De acordo com o requisito 4.3.1 Aspectos Ambientais (ABNT, 2004) a organização deve estabelecer, implementar e manter procedimentos para:

- a) Identificar os aspectos ambientais de suas atividades, produtos e serviços, dentro do escopo definido do seu sistema de gestão ambiental, que a organização possa controlar, e aqueles que ela possa influenciar, levando em consideração os desenvolvimentos novos ou planejados, as atividades, produtos e serviços novos ou modificados.
- b) Determinar os aspectos que tenham ou possam ter impacto significativo sobre o meio ambiente, isto é, aspectos ambientais significativos. A organização deve documentar essas informações e mantê-las atualizadas. A organização deve assegurar que os aspectos ambientais significativos sejam cobertos no estabelecimento, implementação e manutenção do sistema de gestão ambiental.

Ainda em complementação a este requisito a ABNT NBR ISO 14004:2005 estabelece: a identificação dos aspectos ambientais significativos e seus impactos associados é necessária para determinar onde é preciso haver controle ou melhoria e para definição de prioridades para ações de gestão. Recomenda-se também que a política de uma organização, seus objetivos e metas, treinamentos, comunicações, controles operacionais e programas de monitoramento sejam primeiramente baseados no conhecimento de seus aspectos ambientais significativos.

2.2.2 Controle Operacional

Considerando os controles operacionais relacionados aos aspectos significativos conforme descrito na ABNT NBR 14004:2005, uma das missões da organização que possui um sistema de gestão ambiental é promover a adoção de controles operacionais eficientes que garantam a confiabilidade de seus sistemas, norteadas pela significância de seus aspectos ambientais.

Desta forma, a ABNT NBR 14001:2004 estabelece na fase de implementação e operação, mais precisamente no requisito 4.4.6 - Controle operacional, que:

A organização deve identificar e planejar aquelas operações que estejam associadas aos aspectos ambientais significativos, identificados de acordo com a sua política, objetivos e metas ambientais para assegurar que elas sejam realizadas sob condições especificadas por meio de:

- a) estabelecimento, implementação e manutenção de procedimento(s) documentado(s) para controlar situações onde sua ausência possa acarretar desvios em relação à sua política e aos objetivos e metas ambientais;
- b) determinação de critérios operacionais no(s) procedimento(s);
- c) estabelecimento, implementação e manutenção de procedimento(s) associado(s) aos aspectos ambientais significativos identificados de produtos e serviços utilizados pela organização e a comunicação de procedimentos e requisitos pertinentes a fornecedores, incluindo prestadores de serviço.

Reforçando este argumento a ABNT NBR ISO14004: 2005 estabelece:

Uma organização pode utilizar controles operacionais para:

- a) gerenciar os aspectos ambientais significativos identificados;
- b) assegurar atendimentos aos requisitos legais e outros subscritos pela organização;
- c) atingir os objetivos e as metas e assegurar consistência com sua política ambiental, incluindo o compromisso com a prevenção da poluição e a melhoria contínua;
- d) evitar ou minimizar os riscos ambientais.

Como verificado acima, os aspectos ambientais devem ser avaliados quanto a sua significância, fornecendo informações importantes para atendimento aos outros requisitos do sistema e ao desempenho ambiental global da organização.

Considerando os controles operacionais relacionados aos aspectos significativos identifica-se nesta fase o momento de estabelecimento de ações que visem garantir a confiabilidade dos sistemas operacionais, reduzindo o risco de

impactos ambientais e atendendo às premissas de controle ambiental estabelecidas pelos órgãos competentes.

Setor importante neste cenário é o responsável pela manutenção das funções dos diversos sistemas. Uma vez identificado o risco e implementada medidas de controle que muitas vezes são relacionadas a sistemas de controles ou elementos ou unidades funcionais, a garantia destas funções está intimamente ligada a segurança ambiental da organização.

A metodologia definida para estabelecimento e implementação de tais controles deve ser coerente com a realidade e condições operacionais da organização.

Encontramos então vasto campo para utilização de ferramentas e sistemáticas de controle e dentre estas oportunidades identificamos o potencial de utilização de ferramentas associadas, que visam integrar a fase de planejamento do SGA na identificação e avaliação de aspectos ambientais a fase de implementação e operação, especificamente no controle operacional, onde encontramos a forte contribuição do setor de manutenção no controle dos sistemas e equipamentos críticos.

As ferramentas que apresentam predisposição para associação nestas fases observadas são o FMEA e o RCM.

2.3 GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS

Um risco é a avaliação de um perigo associando a probabilidade de ocorrência de um evento indesejável (incidente ou acidente) e a gravidade de suas consequências. Em qualquer processo sempre haverá riscos ambientais que são óbvios, tanto pela natureza do processo, quanto pelos produtos envolvidos. Alguns riscos ambientais podem ser facilmente detectados pelo seu potencial de impacto atrelado a um aspecto, porém, nem todos os riscos ambientais são detectados com grande facilidade.

A identificação dos riscos inerentes às atividades da organização e a avaliação de suas possíveis consequências constituem os passos iniciais para a implementação do Sistema de Gestão Ambiental (ANDRADE & TURRIONI, 2000).

O crescimento industrial acelerado a partir da segunda metade do século passado tem demonstrado grande avanço tecnológico enfatizando o fundamental papel da indústria para a sociedade moderna, que vê sua realidade sendo transformada a passos largos.

Em contrapartida, a competitividade e a necessidade do aperfeiçoamento dos processos, que tornaram as plantas industriais cada vez maiores e mais complexas, além da introdução permanente de novas tecnologias em produtos químicos no mercado mundial, acarretaram uma série de problemas ambientais.

Além dos impactos causados pela poluição crônica do ar devido a emissões de compostos químicos na atmosfera, da água e do solo pelo lançamento de efluentes industriais e vazamentos de produtos químicos em geral, causados pelos efluentes e em atividades industriais, os acidentes ambientais tem ganhado destaque, causando grande preocupação nos órgãos de controle, organizações e em toda a comunidade.

Nos últimos anos muitos foram os episódios de acidentes ambientais que atraíram a atenção do mundo quanto a necessidade de implementação de controle ambientais eficazes e promover o gerenciamento dos riscos associados a estas atividades críticas.

Conforme Serpa (2002), alguns eventos ocorridos, principalmente, nas décadas de 70 e 80, serviram como grandes impulsionadores para o desencadeamento de ações consideradas de grande relevância para a prevenção de acidentes ambientais (Quadro 1).

Quadro 1 – Acidentes ambientais

Adaptado de SERPA 2002

Data	Local	Atividade	Substância	Causa	Consequências
16/4/1947	Texas City, USA	Navio	Nitrato de Amônio	Explosão	552 mortes 3.000 feridos
4/1/1966	Feyzin, França	Estocagem	Propano	BLEVE	18 mortes, 81 feridos Perdas de US\$ 68 milhões
21/9/1972	Rio de Janeiro, Brasil	Estocagem	GLP	BLEVE	37 mortes, 53 feridos
13/7/1973	Potchefstroom, África do Sul	Estocagem	Amônia	Vazamento	18 mortes 65 intoxicados
1/6/1974	Flixborough, UK	Planta de Caprolactama	Ciclohexano	Explosão Incêndio	28 mortes, 104 feridos Perdas de US\$ 412 milhões
10/7/1976	Seveso, Itália	Planta de processo	TCDD	Explosão	Contaminação de grande área, devido à emissão de dioxina
6/3/1978	Portsall, UK	Navio	Petróleo	Encalhe	230.000 t Perdas de US\$ 85,2 milhões
11/7/1978	San Carlos, Espanha	Caminhão-tanque	Propeno	VCE	216 mortes, 200 feridos
25/2/1984	Cubatão, Brasil	Duto	Gasolina	Incêndio	Vazamento de 1.200 m ³ 93 mortes
19/11/1984	Cidade do México	Estocagem	GLP	BLEVE Incêndio	650 mortes, 6.400 feridos Perdas de US\$ 22,5 milhões
3/12/1984	Bhopal, Índia	Estocagem	Isocianato de metila	Emissão tóxica	4.000 mortes 200.000 intoxicados
28/4/1986	Chernobyl, Rússia	Usina nuclear	Urânio	Explosão	135.000 pessoas evacuadas

Mais recentemente presenciamos a deficiência de controles ambientais frente a catástrofes como no terremoto do Japão que causou o acidente nuclear na usina de Fukushima ocorrido em Março de 2011.

Casos como estes citados trazem à tona a discussão acerca de quão confiáveis são os sistemas funcionais.

As organizações realmente estão preparadas para enfrentar os piores cenários de catástrofes?

Sob está ótica que este estudo visa incorporar a questão do gerenciamento dos riscos ambientais relacionados a falhas de sistemas funcionais, utilizando para isso a aplicação de metodologia que integre as melhores práticas de levantamento e avaliação dos riscos ambientais e que possa ser realizada análise preliminar destes riscos com o propósito de servir como entradas para utilização das ferramentas de gerenciamento de riscos ambientais.

Os estudos de análise de riscos podem ser considerados como importantes “ferramentas” de gerenciamento, tanto sob o ponto de vista ambiental, como de segurança de processo, em instalações e atividades perigosas, uma vez que esses estudos fornecem, entre outros, os seguintes resultados:

- conhecimento detalhado da instalação e de seus perigos;

- avaliação dos possíveis danos às instalações, aos trabalhadores, à população externa e ao meio ambiente;
- subsídios para a implementação de medidas para a redução e gerenciamento dos riscos existentes na instalação.

Gerenciamento de riscos é um termo normalmente utilizado para caracterizar o processo de identificação, avaliação e controle de riscos. Assim, de um modo geral, o gerenciamento de riscos pode ser definido como sendo a formulação e a implantação de medidas e procedimentos, técnicos e administrativos, que têm por objetivo prevenir, reduzir e controlar os riscos; e ainda, manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil (SERPA, 1997).

A redução dos riscos em uma instalação ou atividade pode ser obtida por meio de implementação de medidas que visem, tanto reduzir as frequências de ocorrência dos acidentes (prevenção), como as suas respectivas consequências (proteção), conforme apresentado na figura 2.

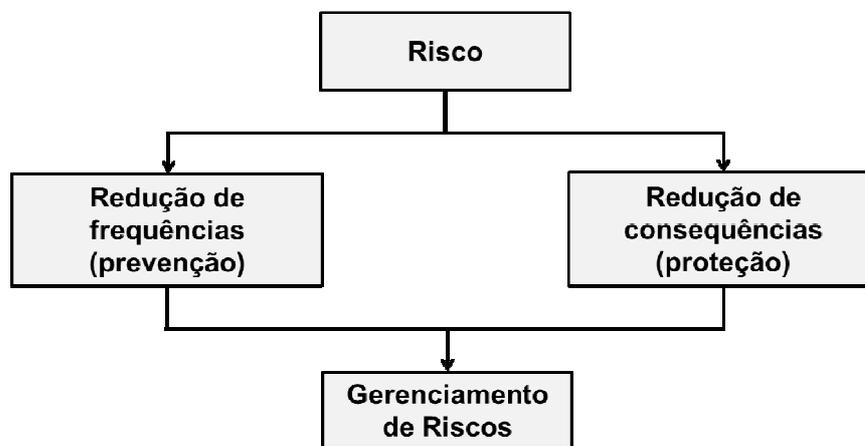


Figura 2 – Abordagem de gerenciamento de riscos
Adaptado de Serpa 1997

Como apresentado na figura 2, as ações voltadas para a redução das frequências de ocorrência de acidentes normalmente estão relacionadas ao aumento de confiabilidade das instalações podendo estar relacionadas com a manutenção de equipamentos e treinamento de pessoal em controle de riscos.

Observa-se então que o ato de manter determinada funcionalidade de um sistema pode contribuir de forma relevante para este aumento de confiabilidade e conseqüentemente, redução da frequência de falhas que podem comprometer o desempenho ambiental da organização.

2.3.1 FMEA – Análise de modos e efeitos de falha

Na década de 60 durante o projeto da missão Apollo, a NASA (National Aeronautics and Space Administration) desenvolveu uma técnica com o propósito para identificar, de forma sistemática, falhas potenciais em sistemas, processos ou produtos, determinar seus efeitos, suas causas e, a partir deste propósito, definir ações para diminuir ou até mesmo eliminar o risco associado a essas falhas. Esta técnica ficou conhecida no meio tecnológico de FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) traduzida para o português como Análise de Modos e Efeitos de Falha (PUENTE, 2002). Apesar de a técnica ter surgida na década de 60, FMEA somente passou a ser utilizada de forma mais abrangente na década de 70, após 1977, quando a empresa Ford Motors Company passou a utilizar a técnica na fabricação de automóveis (GILCHRIST, 1993).

Segundo Stamatís (2003), existem três tipos principais de FMEA:

- a) FMEA de sistema;
- b) FMEA de produto;
- c) FMEA de processo.

FMEA de sistema (ou conceito) é utilizado para avaliar as falhas em sistemas nos estágios iniciais de conceituação e projeto. Enfoca as falhas do sistema em relação às suas funcionalidades e no atendimento das expectativas dos clientes, ou seja, está diretamente ligada à percepção do cliente em relação ao sistema.

FMEA de produto é utilizado para avaliar possíveis falhas no projeto do produto antes da sua liberação para a manufatura. Enfoca as falhas do projeto em relação ao cumprimento dos objetivos definidos para cada uma de suas características e está diretamente ligado à capacidade do projeto em atender aos objetivos pré-definidos. FMEA de produto define necessidade de alterações no

projeto do produto, estabelece prioridades para as ações de melhoria, auxilia na definição de testes e validação do produto, na identificação de características críticas e na avaliação dos requisitos e alternativas do projeto.

FMEA de processo é utilizado para avaliar as falhas em processos antes da sua liberação para produção. Enfoca as falhas do processo em relação ao cumprimento dos seus objetivos pré-definidos e está diretamente ligado à capacidade do processo em cumprir esses objetivos. FMEA de processo define necessidades de alterações no processo, estabelece prioridades para as ações de melhoria, auxilia na execução do plano de controle do processo e na análise dos processos de manufatura e montagem.

A técnica FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) oferece três funções distintas:

- É uma ferramenta para prognóstico de problemas;
- Como ferramenta, o FMEA é uma das técnicas de baixo risco mais eficientes para prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custos, a fim de prevenir esses problemas;
- É um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados: como procedimento, o FMEA oferece uma abordagem estruturada para avaliação, condução e utilização do desenvolvimento de projetos e processos em todas as disciplinas da organização.
- É o diário do projeto, processo ou serviço: como um diário, o FMEA inicia-se na concepção do projeto, processo ou serviço, e se mantém através da vida de mercado do produto. Qualquer modificação durante esse período, que afete a qualidade ou a confiabilidade do produto é avaliada e documentada no FMEA. O FMEA é uma técnica que faz a avaliação da severidade de cada falha relativamente ao impacto causado aos sistemas, processos ou produtos, sua probabilidade de ocorrência e de detecção antes mesmo de chegar aos clientes. Baseando-se nos elementos, severidade, ocorrência e detecção, a técnica FMEA leva à priorização de quais modos de falha ocasionam os maiores riscos aos sistemas, processos ou produtos, portanto, desperta uma atenção especial. Com relação a avaliação da severidade, parece haver concordância de que esta

deva ser realizada a partir do efeito da falha. Porém, para avaliação da ocorrência e detecção, não se observa consenso entre os autores pesquisados. Esta é possivelmente uma das razões que evidencia a importância da seleção da equipe e do planejamento subsequente do FMEA no projeto global de FMEA (SOUZA & MARÇAL 2009).

As fases para execução de FMEA são:

- Identificar os modos de falha conhecidos e potenciais;
- Identificar os efeitos de cada modo de falha e a sua respectiva severidade;
- Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a sua probabilidade de ocorrência;
- Identificar os meios de detecção do modo de falha e sua probabilidade de detecção; e
- Fazer a avaliação do potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas para sua eliminação ou diminuição.

Com relação à fase 5 é possível conseguir isso com atividades que aumentem a probabilidade de detecção ou diminuam a probabilidade de ocorrência da falha. A severidade, que é um índice que não pode ser diminuído ou eliminado, é dependente apenas do nível de transtorno que o efeito de falha pode trazer aos sistemas, processos ou produtos.

Na FMEA raciocina-se de “baixo para cima”: procura-se determinar modos de falha dos componentes mais simples, as suas causas e de que maneira eles afetam os níveis superiores do sistema

Para a elaboração de uma análise via FMEA podemos seguir o fluxograma indicado na figura 3.

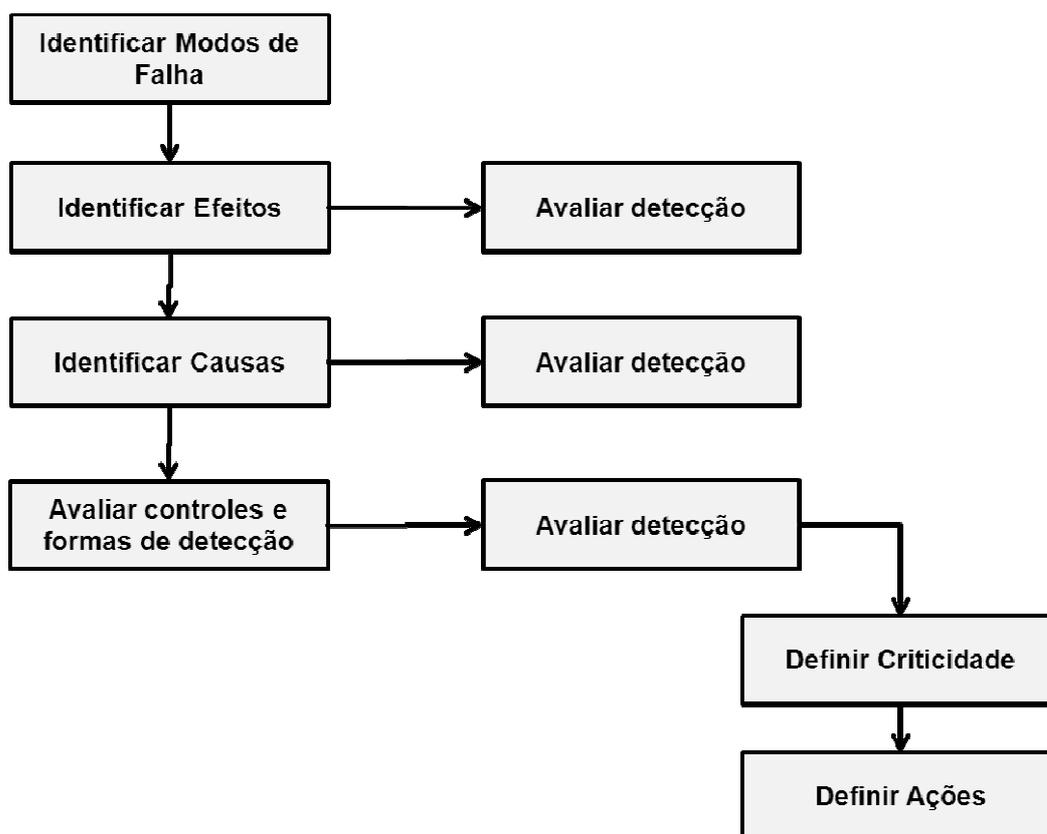


Figura 3 - Fluxo para elaboração da FMEA.
 Fonte: SOUZA & MARÇAL 2009

2.3.2 RCM – Manutenção centrada em confiabilidade

RCM (Reliability Centered Maintenance) traduzida para o português como Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma técnica utilizada para a determinação do tipo de metodologia de manutenção mais efetivo para o tratamento de falhas potenciais.

Podemos definir a confiabilidade como sendo a probabilidade de um sistema ou de um produto executar sua função de maneira satisfatória, dentro de um intervalo de tempo e operando conforme certas condições.

A norma British Standard (BS 4778) cita confiabilidade como a capacidade de um componente desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo determinado. Os estudos sobre confiabilidade surgiram na década de 40, através da indústria aeronáutica.

Com o aumento do uso de aviões como meio de transporte de pessoas e materiais aumentou sensivelmente o número de acidentes. Um marco importante desta época foi o início da investigação sobre a causa de acidentes aéreos, enumerando-os.

Essa nova atitude resultou no estabelecimento de itens de controle de comparação entre o número de acidentes e o número de horas voadas.

Na década de 60, os acidentes aéreos ocorreram na razão de 1 acidente por milhão de aterrissagens efetuadas. O trabalho de desenvolvimento inicial foi feito pela indústria de aviação civil norte-americana.

Ela nasceu quando as empresas aéreas começaram a compreender que muitas das filosofias de manutenção eram não somente muito onerosas, mas vivamente perigosas. Esta percepção incitou a indústria a colocar juntos uma série de "Grupos de Direcionamento da Manutenção" (Maintenance Steering Groups - MSG) para reexaminar todas as coisas que estavam sendo feitas para manter suas aeronaves no ar. Estes grupos consistiam de representantes dos fabricantes de aeronaves, das empresas aéreas e do governo norte americano (PASCHOAL, 2009).

A primeira tentativa de um processo racional, base-zero, para formulação de estratégias de manutenção foi promulgada pela Associação de Transporte Aéreo em Washington, DC, em 1968. A primeira tentativa ficou sendo conhecida como MSG 1. Um refinamento agora conhecido como MSG 2 - foi promulgado em 1970.

Na metade da década de 1970 o Departamento de Defesa dos Estados Unidos queria saber mais acerca do então estado da arte do pensar a manutenção na aviação. Foi autorizado um Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA nº. 03 Jan./Jun. 2009. relatório sobre este assunto vindo da indústria de aviação, escrito pelos engenheiros Stanley Nowlan e Howard Heap, ambos da empresas United Airlines, para o qual foi dado o título de Reliability Centered Maintenance - RCM. O relatório foi publicado em 1978, e ainda hoje é um dos mais importantes documentos - se não o mais importante - na história do gerenciamento de ativos físicos. O relatório de Nowlan e Heap representou um considerável avanço sobre o pensamento do MSG 2. Foi usado como uma base para o MSG 3, que foi promulgado em 1980. O MSG 3 foi revisado duas vezes. A revisão 1 foi lançada em 1988 e a revisão 2 em 1993. É usada até hoje para desenvolver programas de

manutenção prévios ao uso, para novos tipos de aeronaves (recentemente incluindo o Boeing 777 e o Airbus 330/340).

O relatório de Nowlan e Heap e o MSG 3 tem sido, desde então, usado como uma base para vários padrões militares de RCM, e para derivativos não aeronáuticos. A RCM é uma ferramenta de manutenção, que visa racionalizar e sistematizar a determinação de tarefas adequadas a serem adotadas no plano de manutenção, bem como garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações a um menor custo. Sendo então RCM um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer sempre o que seu usuário deseje que ele faça em seu presente contexto operacional (PASCHOAL, 2009).

RCM é uma técnica que integra, basicamente, várias outras técnicas e ferramentas tais como FTA (Fault Tree Analysis), no Brasil conhecido por Análise da Árvore de Falhas e FMEA, de forma sistemática para apoiar efetivamente as decisões gerenciais e operacionais da manutenção durante o desenvolvimento de produtos, processos ou serviços. Observa-se, que o melhor desempenho dessa técnica é quando esta é utilizada desde a fase inicial do projeto de equipamentos para evoluir à medida que o referido projeto se desenvolve. Também pode ter sua aplicação no processo de avaliação de programas de manutenção preventiva com o propósito de introduzir melhoria contínua (FUENTES, 2006).

A RCM pode ser entendida por seus característicos mais importantes: preservação do sistema, identificação de modos de falha que podem afetar a função, priorização dos requisitos da função (por meio dos modos de falha) e eleger atividades de manutenção que sejam efetivas.

O principal objetivo da Manutenção Centrada em Confiabilidade é reduzir o custo de manutenção, centrando o foco nas mais importantes ações de manutenção que não são absolutamente necessárias.

O estudo analítico da Manutenção Centrada em Confiabilidade pode ser entendido como uma sequência de fases interativas que, à medida que o processo ou serviço avança a equipe adquire mais experiências e pode visualizar melhor as funções e corrigir o processo ou serviço fazendo as devidas modificações, eliminação ou até acumular mais segurança (SOUZA & MARÇAL 2009).

Para se enquadrar qualquer item no processo da Manutenção Centrada em Confiabilidade recomenda-se a aplicação das sete tradicionais perguntas:

- a) Quais são as funções e padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual?
- b) Qual é o estágio da falha para haver perda da sua função?
- c) O que causa cada falha operacional?
- d) O que sucede quando cada falha ocorre?
- e) De que forma cada falha tem importância?
- f) O que pode ser feito para prevenir cada falha?
- g) O que se deveria fazer se uma tarefa preventiva adequada não pode ser executada?

É importante ressaltar que grande parte das preocupações na implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade converge para responder a estas perguntas, em especial na definição das funções e de seus níveis de referência.

Conforme Fuentes (2006), na Manutenção Centrada em Confiabilidade cada atividade, de um programa de Manutenção Preventiva, é produzida a partir da avaliação das consequências das falhas funcionais do sistema, procedido do exame explícito da relação entre cada atividade e as características de confiabilidade dos modos de falha do equipamento, para determinar se a atividade é:

- Essencial do ponto de vista de segurança humana, operacional e ambiental;
- Desejável do ponto de vista de custo-benefício (perda de capacidade operacional e indisponibilidade são consideradas custos).

2.4 OPERACIONALIDADE ENTRE FMEA E RCM

A operacionalidade entre as técnicas de FMEA e RCM são demonstradas pela sequência lógica de aplicação das ferramentas. A aplicação de FMEA, com foco em analisar as causas e consequência é realizada conforme figura 4.

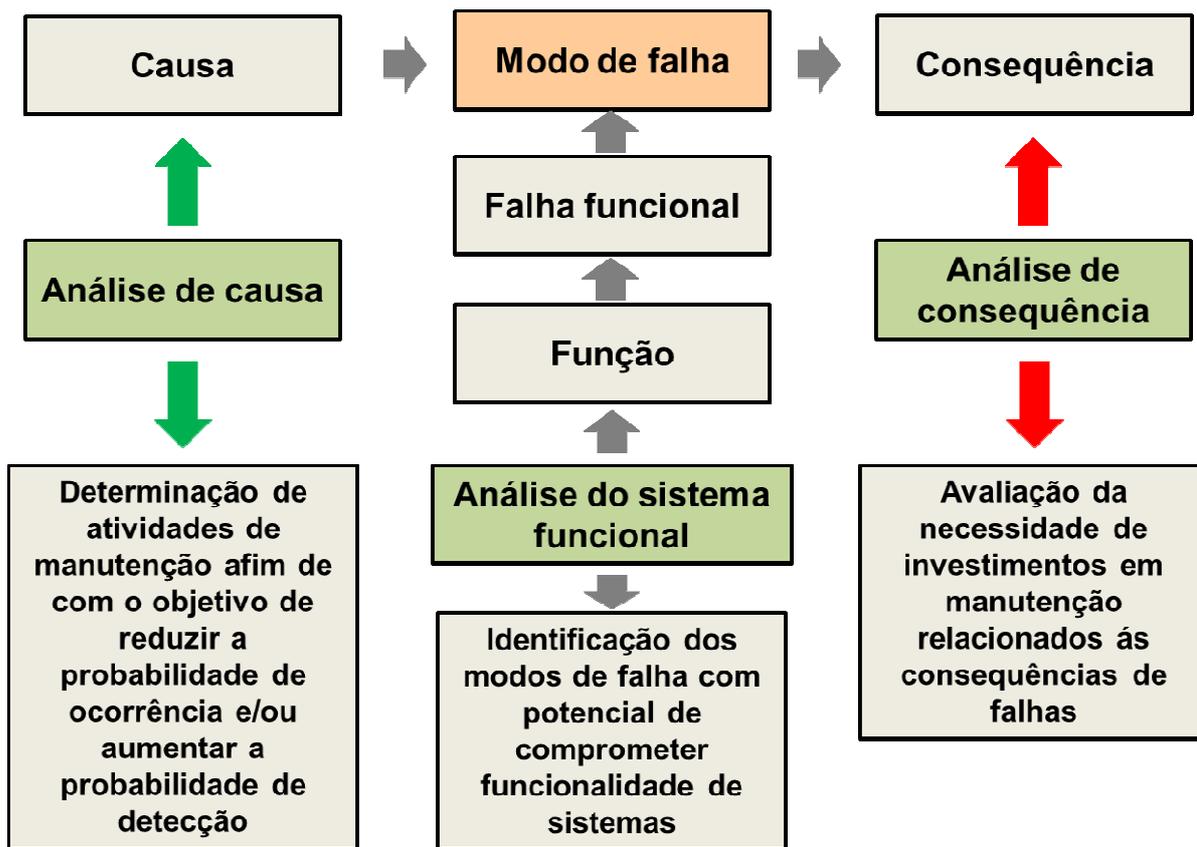


Figura 4 – Aplicação de FMEA com foco em causa e consequência

Segundo Siqueira (2005), uma vez estabelecido o plano tático RCM, o detalhamento por instalação deverá constar no Programa de Implementação ou Plano Operacional RCM, o qual deverá conter as seguintes fases, por instalação:

- Seleção da equipe de análise;
- Treinamento da equipe em RCM;
- Treinamento da equipe de instalação;
- Extensão do processo restante da instalação.

O quadro 2 mostra cada uma das fases da operacionalização das técnicas RCM e FMEA.

Quadro 2 – Fases na execução da RCM

Fonte: Adaptado de SOUZA & MARÇAL 2009

Requisitos Operacionais	Montagem da equipe de análise; Identificação de dados; Coletar dados Descrever sistema; Identificação dos elementos Definições de fronteiras e interfaces.
Análise Funcional	Identificação de funções; Definições de funções; Definição de falhas funcionais.
Elaboração FMEA	Definição dos modos de falhas; Definição das causas das falhas; Classificação das consequências; Identificação de sistemas críticos.
Diagrama de Decisões	Aplicação do diagrama de decisões; Identificação das tarefas de Manutenção Preventiva; Seleção de tarefas efetivas; Estabelecimento de intervalos; Identificação de mudanças de projeto.
Programa de Manutenção	Comparações com atividades existentes; Detalhamento das instruções; Revisão dos planos; Condução das auditorias; Condução de mudanças de projeto.

Como visto acima a FMEA está inserida no modelo metodológico do RCM. Desta forma, a operacionalidade entre estas técnicas possui alto grau de complementaridade, proporcionando a otimização a ser apresentada nos capítulos seguintes.

3 MÉTODO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS

Para se propôr uma metodologia que contemple a integração de setores e funções com objetivos já definidos e implementados, conforme critérios já definidos, faz se necessário uma análise prévia que apresente um diagnóstico da situação atual relacionada ao sistema em estudo.

Qualquer proposta de alteração no escopo de trabalho, que se pratica atualmente e atinge os objetivos pré-definidos deve ser criticamente analisada de vários pontos de vista afim de não interferir na continuidade operacional dos sistemas da organização.

A análise em questão visa identificar os pontos onde é possível maximizar os resultados por meio da integração de etapas que possuem grande potencial de aproveitamento do efeito sinérgico.

Com esse objetivo, foram então realizada revisão das fases de identificação e avaliação de aspectos ambientais e das práticas e procedimentos de gerenciamento de manutenção em organizações com sistema de gestão ambiental implementado e mantido.

3.1 REVISÃO DAS PRÁTICAS E PROCEDIMENTOS DE IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS

Como ponto de partida para aplicação prática da metodologia proposta foi realizado um levantamento das praticas atuais relacionadas ao modelo de gestão em análise, relacionado a um processo de transmissão de energia elétrica de uma organização fictícia a qual nos referiremos organização A.

A metodologia detalhada abaixo se baseia no atendimento ao requisito 4.3.1 Aspectos Ambientais da ABNT NBR ISO 14001:2004.

Para este enfoque não se encontra vasta literatura que detalhe esta implementação, visto que possui perfil prático operacional, sendo assim documentação desenvolvida por consultorias especializadas no tema e/ou

organizações em processo de implementação / manutenção de um sistema de gestão ambiental.

3.1.1 Identificação dos aspectos e impactos ambientais

Para identificação dos aspectos e impactos ambientais devem ser considerados os aspectos decorrentes das atividades (processos e serviços) da organização e suas empresas contratadas, que apresentem elementos que possam interagir com o meio ambiente e que possam ocasionar impactos ambientais.

A identificação, tanto para as novas atividades, quanto na avaliação periódica dos aspectos ambientais deverá abranger também:

- a) Os requisitos legais associados;
- b) O exame das práticas e procedimentos ambientais existentes;
- c) A identificação das interfaces entre os aspectos ambientais e o meio ambiente, considerando-se:
 - emissões gasosas,
 - poluição sonora,
 - efluentes líquidos,
 - resíduos sólidos,
 - contaminação do solo,
 - impacto sobre a comunidade,
 - uso de recursos naturais (água, energia elétrica, combustíveis).

3.1.2 Método de avaliação de aspectos e ambientais

A avaliação dos aspectos ambientais é feita através de metodologia definida para identificação e avaliação de aspectos ambientais.

A identificação dos aspectos ambientais inicia-se com a escolha de uma atividade para o qual devem ser levantados todos os tipos de aspectos ambientais.

Durante o levantamento dos aspectos ambientais deverá ser considerado o detalhamento do aspecto, em relação à sua natureza e processo, para que a

pontuação do nível de significância, a identificação da legislação e a definição das ações de controle sejam apropriadas.

3.1.3 Identificação dos requisitos legais

Após o levantamento dos aspectos ambientais é necessário efetuar a identificação dos requisitos aplicáveis, associando-os na matriz de identificação e avaliação de aspectos ambientais. Devem ser considerados os requisitos legais nos âmbitos federais, estaduais e municipais, normas e as possíveis condicionantes previstas durante o processo de licenciamento de atividades potencialmente poluidoras. Normas devem ser contempladas nas legislações que fizerem referências as mesmas.

Sempre que novos aspectos forem identificados, ou as atividades e processos revisados, a matriz de identificação e avaliação de aspectos ambientais deverá ser revisada, também devendo ser identificados os possíveis novos requisitos legais aplicáveis.

3.1.4 Detalhamento dos aspectos e impactos ambientais

3.1.4.1 Aspectos Ambientais

Os aspectos ambientais são classificados conforme exemplos abaixo:

- emissões gasosas: emissões de poeira, CFC, HCFC, CO₂, SO₂, odor, etc.
- geração de efluentes líquidos: efluentes líquidos industriais, sanitários, etc.
- geração de resíduos sólidos: produtos no estado sólido ou semissólido, que por suas características peculiares exijam tratamento e/ ou disposição adequada. Exemplos: borras, lodos, sucatas de materiais, etc.
- consumo de recursos naturais: consumo de água, energia elétrica, combustível, etc.

- emissões de energia: qualquer forma de energia que é admitida como perda das atividades desenvolvidas ou pelos equipamentos e veículos utilizados. Exemplos: ruído, calor, radiação, etc.

A organização deve considerar em todos os casos condições de operação normais e anormais, incluindo partidas e paradas, manutenções e situações de emergência e acidentes (ABNT, 2005). Deste modo, os aspectos podem ser relacionados a perigos, que acarretam em risco ao meio ambiente.

3.1.4.2 Impactos Ambientais

Os impactos ambientais são levantados a partir do aspecto ambiental que o gerou conforme exemplos abaixo:

- alteração da qualidade do solo;
- alteração da qualidade do ar;
- alteração da qualidade da água;
- esgotamento dos recursos naturais.

3.1.5 Classificação dos aspectos ambientais

3.1.5.1 Quanto a Situação Temporal

Quadro 3 – Classificação do aspecto quanto à situação temporal

Fonte: Organização A

Tipo do Aspecto	Descrição
Presente	Aspectos ambientais associados às atividades que estão sendo desenvolvidas.
Passado	Gerado no passado (nas atividades atuais não é gerado)
Futuro	Aspectos ambientais que podem resultar da implantação de novos projetos, instalações, equipamentos e/ ou serviços.

3.1.5.2 Quanto a Origem

Quadro 4 – Classificação do aspecto quanto a origem

Fonte: Organização A

Tipo do Aspecto	Descrição
Diretos	Aspectos ambientais sobre os quais a organização tem controle.
Indiretos	Aspectos ambientais sobre os quais a organização tem influência (geralmente associados a fornecedores, prestadores de serviços e terceiros).

3.1.5.3 Quanto a Condição

Quadro 5 – Classificação do aspecto quanto a condição

Fonte: Organização A

Tipo do Aspecto	Descrição
Normal	Aspectos ambientais são inerentes ao processo em regime estável.
Anormal	Aspectos ambientais gerados em regime de transição ou em situações não esperadas (Exemplo: pequenos vazamentos) que, porém não caracterizam emergências.
Emergencial	Aspectos ambientais resultantes de situações não programadas e fortuitas.

3.1.6 Análise e valoração de aspectos ambientais

A análise dos aspectos ambientais e seus impactos têm como objetivo avaliá-los através de uma classificação sistemática considerando os critérios definidos pela ABNT NBR ISO 14064:2006:

- requisitos legais;
- gravidade do potencial impacto;
- frequência ou probabilidade da ocorrência do impacto relacionado;
- ocorrências de partes interessadas.

Toda análise de aspectos ambientais e seus impactos devem ser realizados com base nas suas possíveis consequências ao meio ambiente, sem considerar eventuais controles existentes.

As características dos aspectos ambientais em relação aos seus impactos são quantificadas conforme os seguintes critérios:

Pontuação da frequência ou probabilidade

- Frequência: utilizada para situações normal ou anormal
- Probabilidade: utilizada para situação de emergência

Quadro 6 – Classificação do aspecto quanto a frequência/probabilidade

Fonte: Organização A

Frequência/Probabilidade	Pontuação	Definição
Remota	1	Possibilidade de ocorrência do impacto em períodos superiores a 1 ano.
Eventual	2	Possibilidade de ocorrência do impacto em períodos superiores a 1 mês e inferiores a 1 ano.
Considerável	3	Possibilidade de ocorrência do impacto ao menos 1 vez por mês.

Quadro 7 – Classificação do aspecto quanto a severidade

Fonte: Organização A

Severidade	Pontuação	Definição
Baixa	1	Impacto ambiental pontual restrito à unidade industrial envolvida e de fácil recuperação
Média	2	Impacto ambiental que pode alcançar áreas externas da unidade industrial e de média recuperação.
Alta	3	Impacto ambiental que pode alcançar áreas externas da unidade industrial, de difícil recuperação.

Quadro 8 – Classificação do aspecto quanto existência de requisitos legais aplicáveis

Fonte: Organização A

Pontuação	Legislação aplicável com requisitos
0	Não há requisito legal diretamente aplicável ao aspecto.
1	Há requisito legal diretamente aplicável ao aspecto.

Pontuação das ocorrências com parte interessada. São consideradas as ocorrências relacionadas ao meio ambiente. Exemplos:

- Reclamações da comunidade;
- Interesse para o negócio.

Quadro 9 – Classificação do aspecto quanto existência de ocorrências de partes interessadas

Fonte: Organização A

Pontuação	Ocorrências com parte interessada
0	Não há ocorrências com parte interessada.
1	Há ocorrências com parte interessada.

3.1.7 Definição da significância

Para que sejam estabelecidas as ações de controle é necessária a determinação dos aspectos ambientais significativos, que serão definidos por meio da seguinte sistemática:

É significativo o aspecto ambiental cuja soma entre frequência (ou probabilidade), severidade, legislação aplicável com requisitos e ocorrências com parte interessada seja maior ou igual a 5.

Aspecto ambiental = frequência (ou probabilidade) + severidade + legislação aplicável com requisitos + ocorrências com parte interessada

- significativo: resultado do somatório $>$ ou $=$ 5
- não significativo: resultado do somatório $<$ 5

3.1.8 Implementação de controles relacionados aos aspectos ambientais

Após a análise, para todos os aspectos ambientais significativos devem ser estabelecidos controles adequados às condições operacionais e a magnitude dos potenciais impactos ambientais.

Tais controles devem ser evidenciados na matriz estabelecida conforme matriz de identificação e avaliação de aspectos ambientais.

A classificação dos controles é descrita conforme o quadro 10.

Quadro 10 – Classificação dos controles relacionados aos aspectos

Fonte: Organização A

Aspecto sob controle	Registra-se o controle existente e/ou relaciona-se os procedimentos e/ou instruções de trabalho que estão relacionadas ao controle.
Aspecto com controle em planejamento	Registra-se o controle a ser implementando ou aponta-se o programa de melhoria que aborda o item em questão.
Aspecto ambiental não controlável	Registra-se a razão pela qual o controle não pode ser exercido.

3.1.9 Fluxograma

O fluxograma que sintetiza a sistemática de avaliação de aspectos ambientais é apresentado na figura 5:

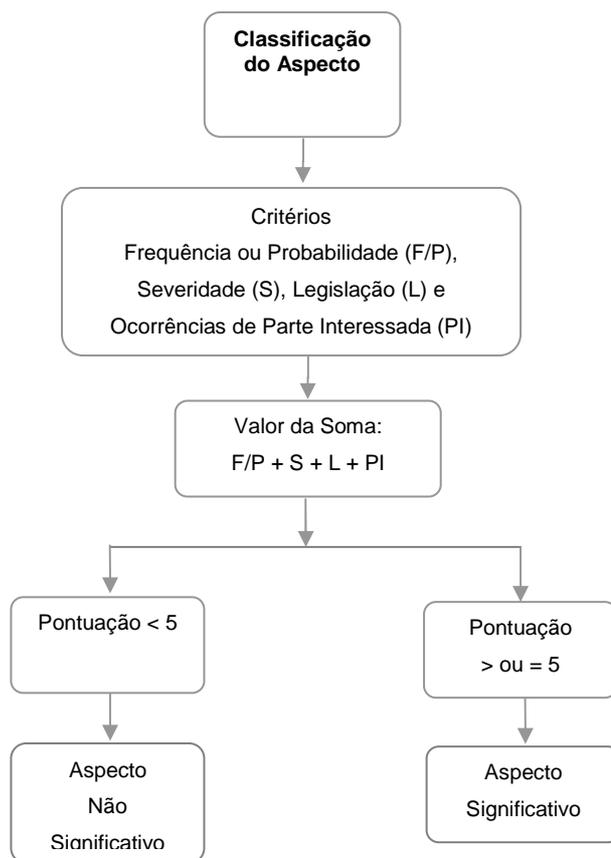


Figura 5 – Sistemática de avaliação de aspectos ambientais
Fonte: Organização A

A metodologia de identificação e avaliação de aspectos ambientais com as premissas detalhadas acima é apresentada na figura 6.

Empreendimento			Fase			Data			Revisão							
Empresa			Elaborador			Revisor										
Unidade	Processo	Atividade	Aspecto Ambiental	Observações	Impacto Ambiental	Situação Temporal	Origem	Condição	Análise					Significativo (S ou NS)	Requisitos Legais	Controle
									F/P	S	L	PI	S			
													0	NS		
													0	NS		

Figura 6 – Matriz de avaliação aspectos ambientais
Fonte: Organização A

3.2 REVISÃO DAS PRÁTICAS E PROCEDIMENTOS DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO

A interface do gerenciamento de manutenção e o controle de riscos ambientais é definida por meio de sistemática que considera a caracterização de risco causada por falhas e defeitos de equipamentos e sistemas.

Os critérios para definir a priorização de atendimento de manutenção relacionada a criticidade do risco relacionado a falha de um equipamento ou componente do sistema não considera somente os riscos ambientais, mas também outros como:

- Risco Material
- Risco de Acidente Pessoal
- Risco Operacional

Analisando a metodologia utilizada na organização A, observa-se que o planejamento das atividades considera como entradas o histórico de falhas dos equipamentos e sistemas, representando uma abordagem reativa frente aos riscos ambientais relacionados aos mesmos.

As etapas de elaboração de um relatório de defeitos e falhas referente a metodologia revisada na organização A é apresentada a seguir:

Detalhamento das etapas da metodologia de elaboração de um relatório de defeitos e falhas:

1. Definição da instalação

Etapa onde se determina qual instalação ou conjunto de instalações de uma organização será objeto de análise do ponto de vista de gerenciamento de manutenção. É importante definir critérios claros para a delimitação do escopo da instalação a fim de se manter um acompanhamento que reflita a real condição dos sistemas. É nesta fase que se realiza o levantamento dos sistemas funcionais e seus responsáveis, recursos disponibilizados e interfaces críticas.

2. Definição do setor da instalação

Entende-se como setor de uma instalação, um conjunto de sistemas e/ou equipamentos destinados a desempenhar funções estabelecidas em um determinado escopo.

3. Definição do sistema e/ou equipamento

Esta etapa é primordial para a análise pois estabelece e define fisicamente o ponto onde as intervenções devem ser executadas. Permite visualizar limitações e restrições que possam afetar o desenvolvimento das atividades de manutenção.

4. Definição do componente do equipamento

Ponto onde foi detectada falha e/ou defeito, devendo ser alvo de intervenções. Podendo ser o próprio equipamento em questão. Esta etapa pode ser mais simples ou complexa, dependendo do contexto da falha.

5. Classificação da falha ou defeito

A metodologia em estudo define a seguinte classificação para falhas e/ou defeitos:

- Civil
- Elétrico
- Eletrônico
- Mecânico
- Telecomunicações
- Proteção
- Automação

Esta classificação compartimentada em áreas específicas permite otimizar a alocação de recursos para realização das potenciais intervenções necessárias, principalmente disponibilizar a equipe especializada no conhecimento da temática relacionada a falha ou defeito.

6. Descrição da falha ou defeito

Levantamento de informações que permitam programar de forma eficaz a intervenção no componente ou equipamento.

7. Modo de detecção

Modo com que se detecta a falha do equipamento ou sistema, podendo ser determinada em:

- Alarme
- Análise laboratorial
- Atividade de manutenção
- Falha do equipamento
- Inspeção de rotina
- Operação de equipamento

8. Data da detecção

Define o momento em que foi detectada a falha ou defeito. Permite analisar o contexto operacional no momento da falha, podendo relacionar a ocorrência de um determinado evento a falha ou defeito, o que pode ajudar na definição de causa raiz do problema.

9. Ação executada após detecção de falha ou defeito

Intervenção realizada para restabelecer as funções dos sistemas e equipamentos.

10. Avaliação quanto a existência de restrição operacional

Levantamento necessário para apontar se a falha ou defeito determina limitações para a continuidade operacional.

11. Estado do componente ou equipamento quando da detecção

O equipamento ou componente, quando da detecção da falha ou defeito pode estar das seguintes formas quanto a sua condição operacional:

- Operação normal
- Operação com defeito

- Fora de operação – falha

12. Caracterização do risco relacionado a falha ou defeito

Segundo a metodologia, os defeitos ou falhas são caracterizados como:

- Risco Material
- Risco de Acidente Pessoal
- Risco Operacional
- Risco de Ambiental
- Não há risco

Quadro 11 – Relatório de Defeitos e Falhas.
Fonte: Organização A

Relatório de Defeitos e Falhas											
Instalação	Setor	Equipamento	Componente	Classificação da falha ou defeito	Descrição da falha ou defeito	Modo de detecção	Data de detecção	Ação executada após detecção da falha ou defeito	Restrição Operacional	Estado	Caracterização

Para o acompanhamento de defeito ou falha são realizadas as seguintes etapas, conforme método aplicada na organização A:

1. Definição da falha ou defeito

Realizada pela equipe de manutenção, esta fase é determinante para o planejamento da intervenção.

2. Planejamento da intervenção

Etapa necessária para alocação de recursos necessários a realização da intervenção.

3. Realização da intervenção

Execução das atividades de manutenção planejada com base na falha do equipamento e/ou componente com o objetivo de manter/restabelecer a função do sistema operacional em questão.

4. Reporte de pendências existentes

Quaisquer problemas encontrados para a plena execução das atividades de intervenção devem ser tratadas como pendências para que permitam seu acompanhamento e rastreabilidade, mesmo que a função do sistema seja restabelecida/mantida.

5. Causas das pendências existentes

Com base nas pendências existentes, relacionadas à intervenção, é importante que sejam definidas as causas das pendências existentes para análise crítica do planejamento da intervenção. Esta análise pode evitar problemas no planejamento de ações posteriores.

Estas causas de pendências podem entre outras diversas, estar relacionadas a:

- Recursos humanos insuficientes
- Recursos materiais insuficientes
- Etapas e caminhos críticos não considerados
- Desconhecimento de interferências

6. Status da intervenção quanto ao planejamento

Revela a situação da atividade quanto ao seu planejamento e execução, podendo ser:

- Concluída
- Pendente
- Em execução

7. Tempo decorrido desde a detecção da falha ou defeito

Estabelece um indicador para o gerenciamento de manutenção que demonstra o quão objetivas e eficazes estão sendo realizadas as etapas planejadas e realizadas pelo setor de gerenciamento de manutenção.

Quadro 12 - Acompanhamento do defeito

Fonte: Organização A

Acompanhamento do defeito/falha						
Falha ou Defeito	Planejamento da Intervenção	Realização da Intervenção	Reporte de pendências	Causas das pendências	Status	Tempo Decorrido

Para facilitar o entendimento da forma de aplicação da metodologia atualmente utilizada na organização A, serão apresentadas análises realizadas em uma unidade de subestação de energia elétrica.

Quadro 13 – Exemplo de aplicação do Relatório de Defeitos e Falhas

Fonte: Organização A

Relatório de Defeitos e Falhas												
Instalação	Setor	Equipamento	Componente	Classificação da falha ou defeito	Descrição da falha ou defeito	Modo de detecção	Data de detecção	Ação executada após detecção da falha ou defeito	Restrição Operacional	Estado	Caracterização	
A	1	Reator 500KV	Reator 500 Kv de Barra fase B	Mecânico	Evidencia de vazamento de óleo através do cabo acelerometro na fase B	Inspeção de rotina	25/5/2010	Limpeza e Acompanhamento do Vazamento	Não	Defeito	Risco de Ambiental	
A	1	Reator 500KV	Reator 500 Kv de Barra fase R	Mecânico	Evidencia de vazamento de óleo através do cabo acelerometro na fase R	Inspeção de rotina	25/5/2010	Limpeza e Acompanhamento do Vazamento	Não	Defeito	Risco de Ambiental	
B	1	Grupo Motor Gerador 1	Conexões do tanque de combustível	Mecânico	Conexões do reservatório de combustível danificadas pelo tempo.	Atividade de manutenção	23/8/2010	Solicitado orçamentos para execução da atividade	Não	Defeito	Risco de Ambiental	
C	1	SAT 01	Válvula de isolamento	Mecânico	Evidencia de vazamento de óleo isolante pela valvula de isolamento (oring de borracha)	Inspeção de rotina	15/8/2009	Elaborado relatório de falhas para solução do problema	Não	Defeito	Risco Operacional	
A	1	INRE7-02	Válvula de isolamento	Mecânico	Evidencia de vazamento de óleo isolante pela valvula de isolamento	Inspeção de rotina	27/7/2009	Elaborado relatório de falhas para solução do problema	Não	Defeito	Risco Operacional	
A	1	Disjuntor 03	Capacitor de Equalização	Mecânico	Evidenciado o vazamento de óleo através do Capacitor de Equalização (Flange lateral do Capacitor) do Disjuntor INDJ7-02 Fase A	Inspeção de rotina	9/8/2010	Elaborado relatório de falhas para solução do problema	Não	Defeito	Risco de Ambiental	

Quadro 14 – Exemplo de aplicação do Acompanhamento de defeito

Fonte: Organização A

Acompanhamento do defeito/falha						
Falha ou Defeito	Planejamento da Intervenção	Realização da Intervenção	Reporte de pendências	Causas das pendências	Status	Tempo Decorrido
Conexão do cabo acelerometro	30/6/2010	30/6/2010	PES 0014/2010	Não aplicável	Concluída	36
Conexão do cabo acelerometro	30/6/2010	30/6/2010	PES 0014/2010	Não aplicável	Concluída	36
Oxidação	27/8/2010	26/8/2010	0015/2010	Não aplicável	Concluída	3
Vazamento de óleo	28/2/2011	Depende de desligamento	Não aplicável	Depende de desligamento	Pendente	945
Vazamento de óleo	28/2/2011	Depende de desligamento	Não aplicável	Depende de desligamento	Pendente	964
Vazamento de óleo	30/11/2010	Depende de desligamento	Não aplicável	Aguardando programação fabricante	Pendente	586

Conforme demonstrado, o método de gerenciamento de manutenção utilizado pela organização A apresenta diversas lacunas tais como:

- Não utiliza técnicas de análise de falhas/defeitos, o que acrescentaria maior detalhamento acerca das falhas com respectivos ganhos em planejamento para intervenções;
- Metodologia baseada em histórico de eventos
- Não define a criticidade da falha/defeito
- Não apresenta diagramas de decisão para subsidiar a definição dos níveis de intervenção
- Não fornece uma interface clara com o Sistema de Gestão Ambiental

4 PROPOSTA DE MÉTODO PARA GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS UTILIZANDO AS FERRAMENTAS ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA - FMEA E MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - RCM

Como apresentado nos capítulos anteriores, a abordagem de gerenciamento de risco ambiental por meio de utilização de metodologias específicas e com interface consolidada, permite que avancemos em um campo pouco explorado do ponto de vista de possibilidades de estudos e aplicações distintas com foco em prevenção a riscos ambientais e melhoria contínua dos sistemas de gestão, bem como melhoria do desempenho ambiental global das organizações.

Este trabalho visa promover integração entre as fases de planejamento do sistema de gestão ambiental, mais precisamente do requisito 4.3.1. Aspectos e Impactos Ambientais e fase de implementação e operação por meio do requisito 4.4.6. Controle operacional. Baseado nas justificativas e argumentações apresentadas, o enfoque do estudo a ser apresentado será relacionado a avaliação de aspectos ambientais, sua análise crítica para definição da significância e a partir daí promover subsídios ao estabelecimento de controles mais eficazes com a aplicação da metodologia proposta. A utilização da Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) já na fase de planejamento, como ferramenta para avaliação de impactos ambientais, se mostra eficiente pois possibilita utilizar esta análise inicial como entradas para aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), promovendo assim a implementação de um sistema de gerenciamento de manutenção focado nos riscos ambientais de maior relevância.

Para maior clareza de proposta metodológica é imprescindível a apresentação de alguns conceitos, conforme definido pela organização A, objeto de revisão :

Setor: Localidade onde se situam as instalações.

Sistema Operacional: Conjunto de unidades operacionais de funcionamento autônomo que integradas fornecem produtos, serviços ou utilidades.

Unidade Operacional: Conjunto de sistemas funcionais pelos quais se desenvolve um único e determinado processo.

Sistema Funcional: Grupo de unidades funcionais que atuam conjuntamente para desempenhar uma ou mais funções necessárias ao processo.

Unidade Funcional: Conjunto de componentes que atuam juntos para desempenhar uma ou mais funções e que associado a outras unidades funcionais formam um sistema funcional. Ex. motor, válvula

De posse destes conceitos, é possível realizar uma análise crítica mais detalhada e manter maior rastreabilidade das informações referente aos sistemas em estudo.

4.1 APLICAÇÃO DE FMEA PARA IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS

Tendo sido realizado um diagnóstico da situação atual acerca das metodologias aplicadas para identificação e avaliação de aspectos ambientais e gerenciamento de manutenção para controle de riscos, apresenta-se a possibilidade de proposição de um método de integração entre estas etapas, utilizando para isso respectivamente as ferramentas FMEA e RCM. Com estes subsídios foi possível a elaboração de um método aplicável ao controle de riscos ambientais.

Tendo com base a metodologia de identificação e avaliação de aspectos ambientais apresentada na matriz da figura 6, foi realizada a revisão para inclusão da Análise de Modos e Efeitos de Falha - FMEA, na fase de planejamento do Sistema de Gestão Ambiental.

Os passos para aplicação do método proposto são descritos a seguir:

- Escolha do sistema operacional de acordo com o escopo definido para a avaliação;
- Escolha do processo referente a unidade operacional a ser avaliada;
- Definição das atividades do processo em questão que devem ser avaliadas;
- Levantamento dos aspectos ambientais relacionados às atividades consideradas no escopo de avaliação;

- Observações referentes a geração do aspecto relacionado a atividade. Esta fase auxilia no melhor entendimento da geração do aspecto e seu potencial de impacto ambiental;
- Levantamento dos impactos potenciais relacionados aos aspectos ambientais avaliados;
- Definição da situação temporal, de acordo com quadro 3;
 - Definição da origem de geração do aspecto ambiental de acordo com quadro 4;
 - Definição da condição de geração do aspecto ambiental, de acordo com quadro 5;
 - Análise preliminar de causa potencial.

Caso exista indicação para impacto causado por falhas em sistemas ou equipamento, a matriz estabelece um filtro com a seguinte lógica:

Causa potencial é relacionada a falhas em sistemas?

Se “SIM” é habilitada outra matriz de análise complementar para preenchimento da técnica de Análise de Modos de Falhas e Efeitos.

Observa-se que os campos relativos a requisitos legais e ocorrências de parte interessada continuam habilitados devendo ser preenchidos normalmente, porém os campos relativos a gravidade e frequência/probabilidade são automaticamente preenchidos com as informações consideradas na análise complementar.

Atendendo a premissa de set relacionado a falhas de sistemas o aspecto já é considerado significativo.

Se “NÃO”, a matriz continua sendo preenchida normalmente sendo desabilitada a etapa complementar, seguindo conforme a sistemática definida na figura 6 definindo:

- Definição da frequência/probabilidade conforme
- Definição da severidade
- Levantamento de legislação aplicável
- Definição de ocorrência de parte interessada

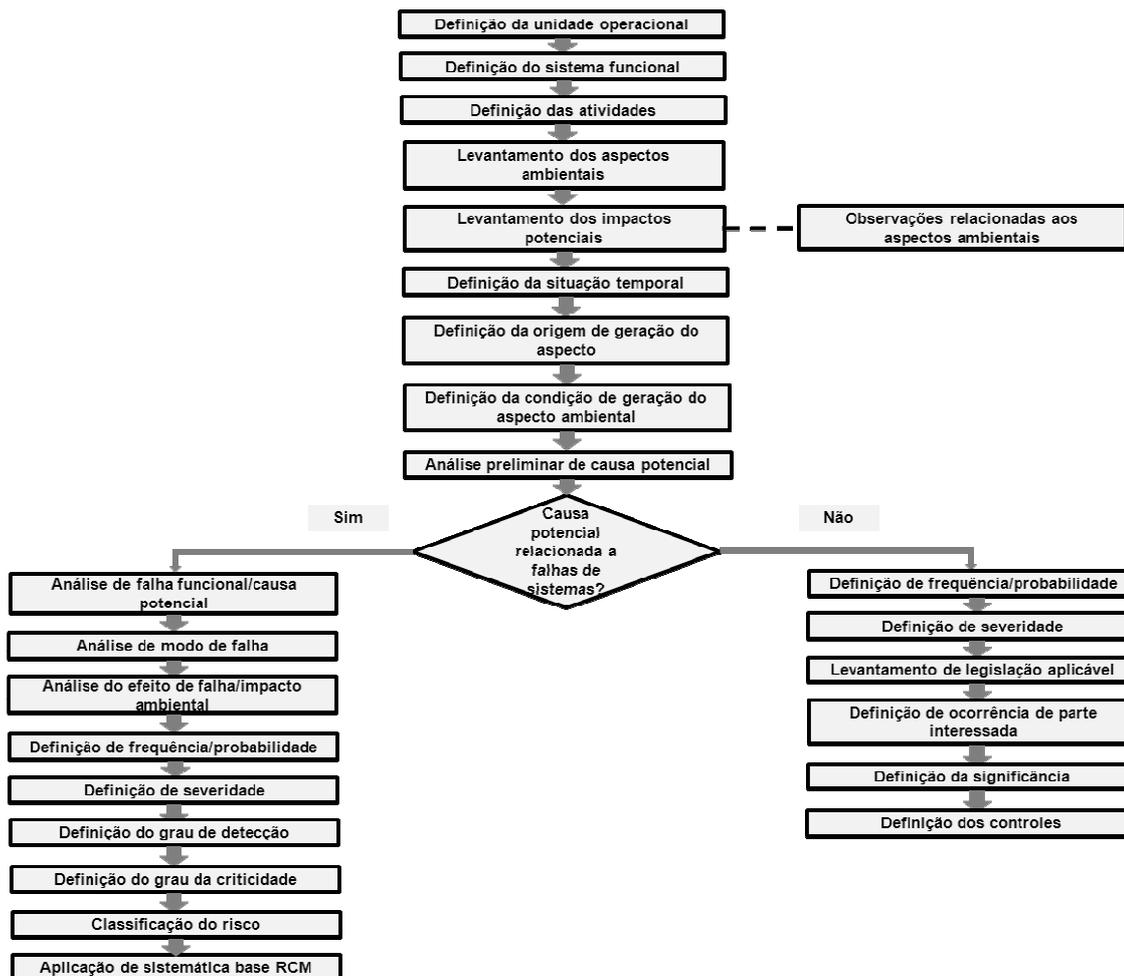


Figura 7 – Fluxograma de análise de aspectos e riscos ambientais

Setor	_____		Fase	_____		Data	_____		
Sistema Operacional	_____		Resp. Elaboração	_____		Resp. Revisão	_____		
Análise complementar									
Unidade funcional	Falha funcional/Causa potencial	Modo de falha	Efeito da falha (= impacto ambiental)	Frequência/Probabilidade da Ocorrência da Causa	Severidade do Impacto	Grau de Detecção	Criticidade	Classificação do Risco	

Figura 8 – Metodologia de avaliação aspectos ambientais

Setor _____		Fase _____		Data _____				
Sistema Operacional _____		Resp. Elaboração _____		Resp. Revisão _____				
Análise complementar								
Unidade funcional	Falha funcional/Causa potencial	Modo de falha	Efeito da falha (= impacto ambiental)	Frequência/Probabilidade da Ocorrência da Causa	Severidade do Impacto	Grau de Detecção	Criticidade	Classificação do Risco

Figura 9 – Metodologia de análise complementar para avaliação aspectos ambientais

Na fase complementar de análise para aplicação do FMEA, os seguintes dados são solicitados:

1. Unidade funcional – relaciona a análise ao mesmo componente considerado na análise inicial
2. Causa potencial do impacto - Deve estar relacionada a falha funcional de uma unidade.
3. Modo de falha – forma com que o componente ou equipamento deixa de desempenhar suas funções
4. Índice de Severidade ou gravidade do impacto - este índice parte de uma análise do efeito do risco para avaliação de sua gravidade, que é estimado em uma escala de 1 a 10 conforme quadro 15. Trata-se da gravidade de um impacto ambiental de um modo potencial de falha relativo ao meio ambiente.

Quadro 15 - Diretrizes para classificar o índice de gravidade do impacto

Fonte: VANDENBRANDE (1998)

Gravidade do Impacto (G)	Índice
Difícilmente será visível. Muito baixa para ocasionar um impacto no meio ambiente.	1-2
Não-conformidade com a política da empresa. Impacto baixo ou muito baixo sobre o meio ambiente.	3-4
Não-conformidade com os requisitos legais e normativos e possíveis prejuízo para a reputação da empresa. Prejuízo moderado ao meio ambiente.	5-6
Sério prejuízo ao meio ambiente.	7-8
Há sérios riscos ao meio ambiente	9-10

5. Índice de Ocorrência da causa

Este índice parte de uma análise do efeito do risco para avaliação de sua probabilidade de ocorrência, que é estimado em uma escala de 1 a 3 conforme Tabela . Trata-se da probabilidade de ocorrência de uma causa específica ou falha funcional.

Quadro 16 – Classificação da ocorrência de causa
Adaptado de Nogueira e Perez 2010

Ocorrência da causa (O)	Probabilidade	Índice
Remota: é altamente improvável que ocorra.	Menos do que 1 em 1.000.000	1
Moderado: tem probabilidade razoável de ocorrer (com possível início e paralisação).	1 em 80 a 1 em 200	2
Alta: ocorre com regularidade e/ou durante um período razoável de tempo.	1 em 8 a 1 em 80	3

6. Grau de detecção

Este índice parte da análise de uma causa potencial/falha funcional para avaliação do grau de controle possível de ser exercido sobre ele, é estimado em uma escala de 1 a 3 conforme quadro 17.

Entende-se por controle a capacidade de atuação no processo para evitar ou minimizar as causas do risco. Deste modo, deve ser analisada a possibilidade de previsão do evento de cada uma das causas, além dos respectivos níveis de controle possíveis de serem estabelecidos.

Quadro 17 – Classificação quanto ao grau de detecção
Adaptado de Nogueira e Perez 2010

Grau de Detecção (D)	Índice
Os controles atuais certamente irão detectar, Quase de imediato, que o aspecto e a reação podem ser instantâneos.	1
Há uma possibilidade moderada de que o aspecto seja detectado num período razoável de tempo antes que uma ação possa ser tomada e os resultados sejam vistos.	2
O aspecto não será detectado em nenhum período razoável de tempo ou não há reação possível (condições operacionais normais).	3

A ABNT NBR ISO 14001:2004 não define as metodologias a serem utilizadas para a identificação e tomada de ações corretivas, determinando somente que sejam adequadas à magnitude e características do potencial impacto em questão.

Também orienta que as ações preventivas sejam implementadas e que exista um acompanhamento sistemático, a fim de assegurar sua eficácia.

Neste contexto identificamos o link necessário para atendimento aos requisitos desta norma, implementando a sistemática da Manutenção Centrada em Confiabilidade - RCM atrelada a fase de planejamento do sistema de gestão ambiental.

7. Matriz de Criticidade

Considerando a análise realizada conforme os requisitos estabelecidos na proposta de sistemática, relacionamos a pontuação obtida por meio de uma matriz de criticidade que classifica os modos de falha que apresentam maior risco para a organização. O método para classificação leva em conta o indicativo de ocorrência da causa, o indicativo de detecção de falha e o índice de gravidade.

Quadro 18 – Matriz de Criticidade

G ↓	O → D →	1			2			3		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1		C3								
2		C3	C2							
3		C3	C2							
4		C3	C2							
5		C3	C2							
6		C2	C1							
7		C2	C1							
8		C2	C1							
9		C2	C1							
10		C2	C1							

Legenda:

G: Índice de Gravidade

O: Índice de ocorrência da causa

D: Grau de detecção

Quadro 19 - Classificação quanto a criticidade

Criticidade	Tipo de Risco
C1	Inaceitável
C2	Comprometedor
C3	Aceitável

Quadro 20 - Risco de falha

Critérios	Frequência ↑	Criticidade		
		O=3 ou D=3	Alta	C3
[O=2 ou D=2] e P≠3 e O≠3	Intermediária	C3	C2	C1
O=1 e D=1	Baixa	C3	C3	C2
	Consequência →	Pequena	Intermediária	Grave
	Critérios	G=1	G=2 à G=5	G=6 à G=10

C1 - Inaceitável

Impacto ambiental que pode alcançar área externas da unidade industrial, de difícil recuperação. Riscos importantes para a imagem da organização com potencial para comprometer a continuidade operacional da mesma. Eficácia das ações de atendimento a emergência dependem da rápida detecção do impacto.

C2 – Comprometedor

Impacto ambiental que pode alcançar áreas externas da unidade industrial e de média recuperação. Impactos com potencial de atingir partes interessadas e

C3 – Aceitável

Impacto ambiental pontual restrito à unidade industrial envolvida e de fácil recuperação. Medidas de controle e contingências desde que rápida e adequadamente implementadas determinam em boa eficiência na mitigação de impacto.

4.2 APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Manutenção centrada em confiabilidade se apresenta dentro dos processos de melhoria contínua, como uma ferramenta de ciclo proativo: as melhorias não são produzidas somente a partir da aprendizagem com as falhas que ocorrem, mas são geradas na velocidade necessária para a organização, utilizando todo o know-how de seus membros.

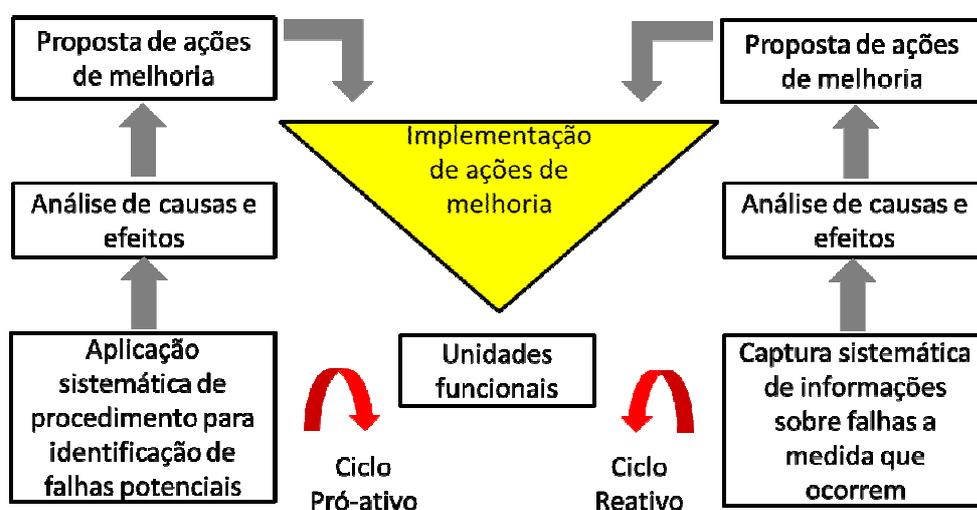


Figura 10 - Fluxo de melhoria contínua RCM

Segundo TROFFÉ (2007) a manutenção centrada em confiabilidade – RCM é uma metodologia de análise sistemática, objetiva e documentada, que pode ser aplicada a qualquer tipo de instalação industrial, aplicável para o desenvolvimento e otimização de um plano eficiente de manutenção.

Com a etapa de análise de cada sistema, do ponto de vista de como estes podem falhar funcionalmente, o método possibilita analisar criticamente os riscos de acordo com o impacto na segurança, meio ambiente, operação e custo. Neste estudo, foi enfatizada a dimensão referente aos riscos ambientais, representando possibilidade de trabalhos futuros, o relacionamento das outras dimensões.

O objetivo principal é que os esforços de manutenção devem ser dirigidos

para manter a funcionalidade dos sistemas mais que os próprios sistemas. Desta forma a metodologia proposta baseada na Manutenção Centrada em Confiabilidade – RCM define as ações que norteiam o sistema de gerenciamento de manutenção.

4.2.1 Definição de Ações para Implementação do Sistema de Gerenciamento de Manutenção Centrada na Confiabilidade

- **Atividade Preventiva (AP)**

A identificação de atividades preventivas eficazes, para cada modo de falha, constitui a principal ação da metodologia RCM, permitindo assim a elaboração de um plano de manutenção preventiva otimizado pela confiabilidade. Os três objetivos da manutenção preventiva são: primeiro, evitar deterioração acelerada e falha do equipamento; segundo, detectar a ocorrência de falhas incipientes e terceiro, detectar a existência de falhas ocultas. Num plano de manutenção preventiva existem fundamentalmente três tipos básicos de atividade de manutenção.

- a) **Manutenção preventiva baseada no tempo (TBM)**

A manutenção preventiva planejada por tempo decorrido é mais adequada a falhas que possuem uma clara característica de desgaste como causa. Entretanto, é antieconômico prevenir falhas de componentes com uma distribuição de vida (ou de taxa de falhas) do tipo normal, ou seja, que possuem taxa de falhas constantes durante toda a vida e não apresentam o fenômeno de desgaste. A atividade de manutenção preventiva baseada no tempo pode consistir em um reparo ou substituição deve ser feita na época em que existe certeza que irá prevenir a ocorrência de uma falha. O segredo desta estratégia envolve um planejamento cuidadoso na determinação dos intervalos de tempo (DUNN1998).

Neste caso as atividades são realizadas com base em uma periodicidade fixa e previamente estabelecida. Quando especificamos uma atividade do tipo TBM, pelo menos em teoria, é porque conhecemos com boa precisão o comportamento temporal das falhas do equipamento, de modo que

podemos determinar precisamente “o que” e “quando” deve ser feito para se evitar a ocorrência das falhas.

b) **Manutenção preventiva baseada na condição (CBM)**

A manutenção baseada na condição é uma estratégia que utiliza algumas técnicas de monitoramento das condições operativas de uma máquina, seus sistemas e componentes sem necessidade de indisponibilizar o mesmo.

As atividades do tipo CBM são aquelas na qual o desempenho ou condição do equipamento é periodicamente medido (pode ser de forma contínua ou a intervalos especificados de medição) e que, de acordo com algum tipo de padrão ou limite pré-estabelecido, uma ação é tomada para se substituir ou restaurar o equipamento.

c) **Teste/inspeção para detecção de falhas (ocultas) existentes (TDF) –**

As atividades do tipo TDF são aquelas para verificarmos se o equipamento já se encontra no estado de falha. Em caso positivo, uma ação corretiva é tomada antes que a demanda ocorra. Segundo Moubray (1996), as tarefas de detecção de falhas ocultas preconizadas pela RCM, abreviadas como TDF, caracterizam-se pela verificação periódica do funcionamento dos equipamentos que normalmente estão desligados (redundância, stand-by, emergência, segurança), colocando-os em operação.

Em sistemas do tipo “stand-by”, segurança, não se sabe realmente se e quando a demanda ocorrerá efetivamente, de forma que a intervalos periódicos pré-estabelecidos, realizando-se testes/inspeções para detecção da existência de falhas que porventura já tenham ocorrido. Desta forma, garantimos uma maior disponibilidade do sistema em caso de ocorrência da demanda.

▪ **Atividade Preventiva Aplicável**

Atividade de manutenção aplicável é aquela que é tecnicamente viável e exequível.

- **Atividade de Manutenção baseada na Condição (CBM)**

As atividades de manutenção baseadas na condição somente podem ser aplicáveis se existe uma correlação entre um parâmetro mensurável e o estado do item.

- **Atividade de Manutenção baseada no Tempo (TBM)**

As atividades de manutenção baseadas no tempo somente podem ser aplicáveis se a probabilidade de falha aumenta com a idade do item.

- **Atividade Eficaz**

Atividade de manutenção eficaz é aquela que:

- a) reduz a probabilidade de ocorrência da falha;
- b) aumenta a probabilidade de detecção de falha;
- c) o risco ambiental é efetivamente reduzido a um nível considerado aceitável;
- d) para falhas não relacionadas a risco ambiental, o custo-benefício justifica sua realização.

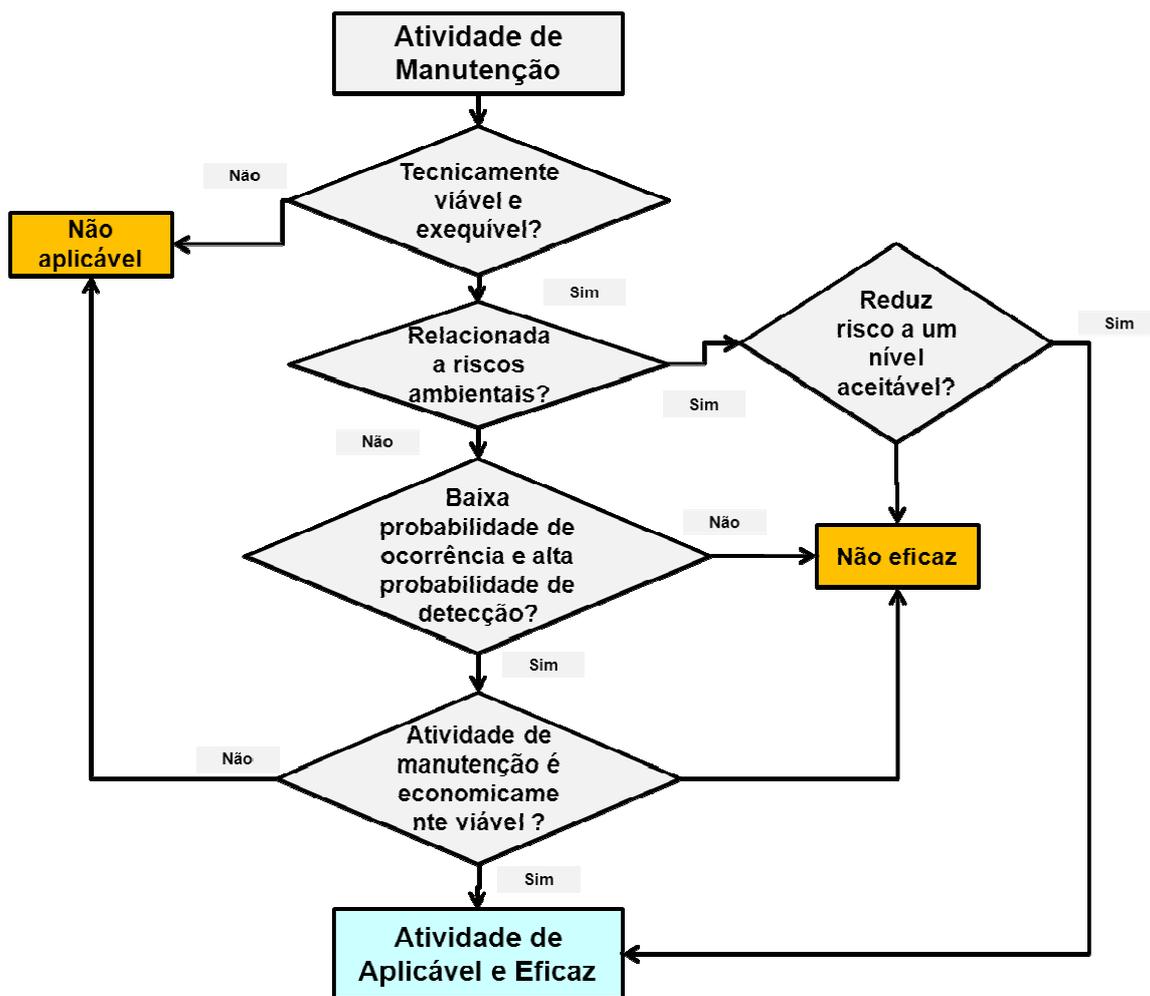


Figura 11 - Atividade Aplicável e Eficaz

▪ **Teste/Inspeção para Identificar Falhas Ocultas (TD)**

No caso de modo de falha oculta, caso não se encontre uma atividade CBM (detectar / monitorar que a falha está prestes a ocorrer) e/ou TBM (reduzir a taxa de falha), tecnicamente viável e custo-eficiente, é necessário verificar a possibilidade de estabelecer ações de teste e/ou inspeções periódicas como tentativa de identificar a ocorrência da falha, antes da necessidade de demanda do sistema.

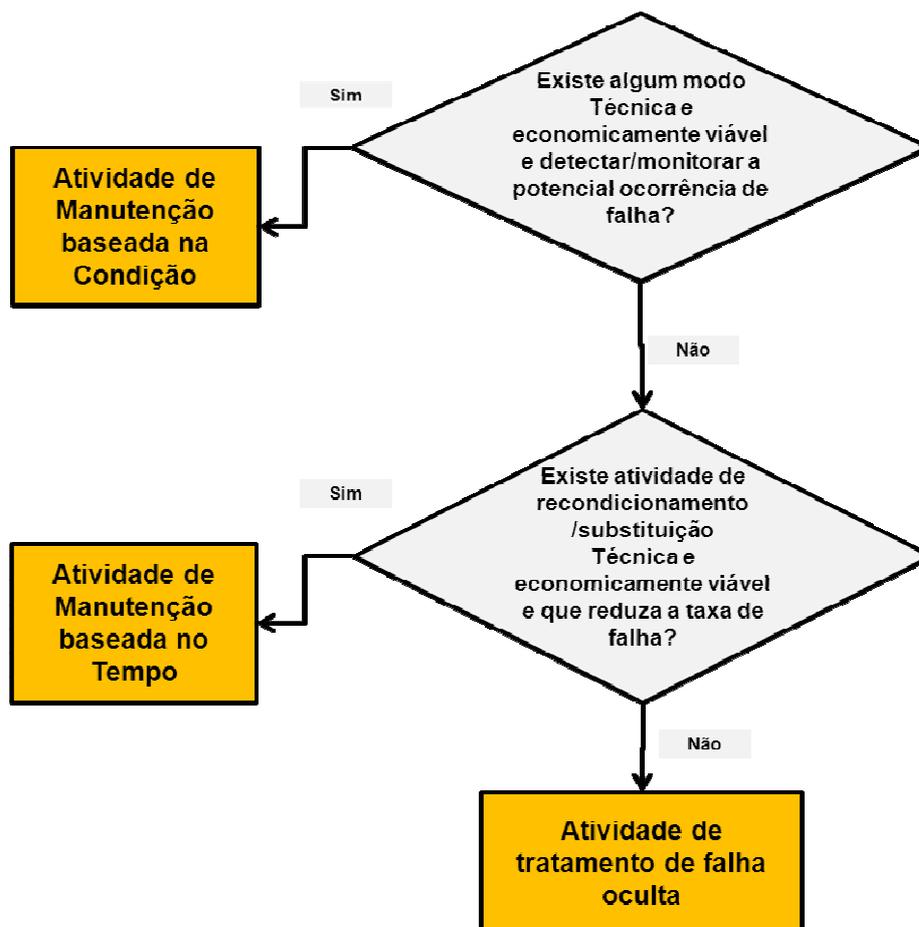


Figura 12 – Tratamento da Falha Oculta

- **Revisar o Projeto (RP)**

No caso de modo de falha, com consequência grave para a organização e para o qual não se encontre atividade preventiva eficaz é necessário verificar a possibilidade de alteração do projeto de modo que altere para um nível aceitável a criticidade da consequência da falha.

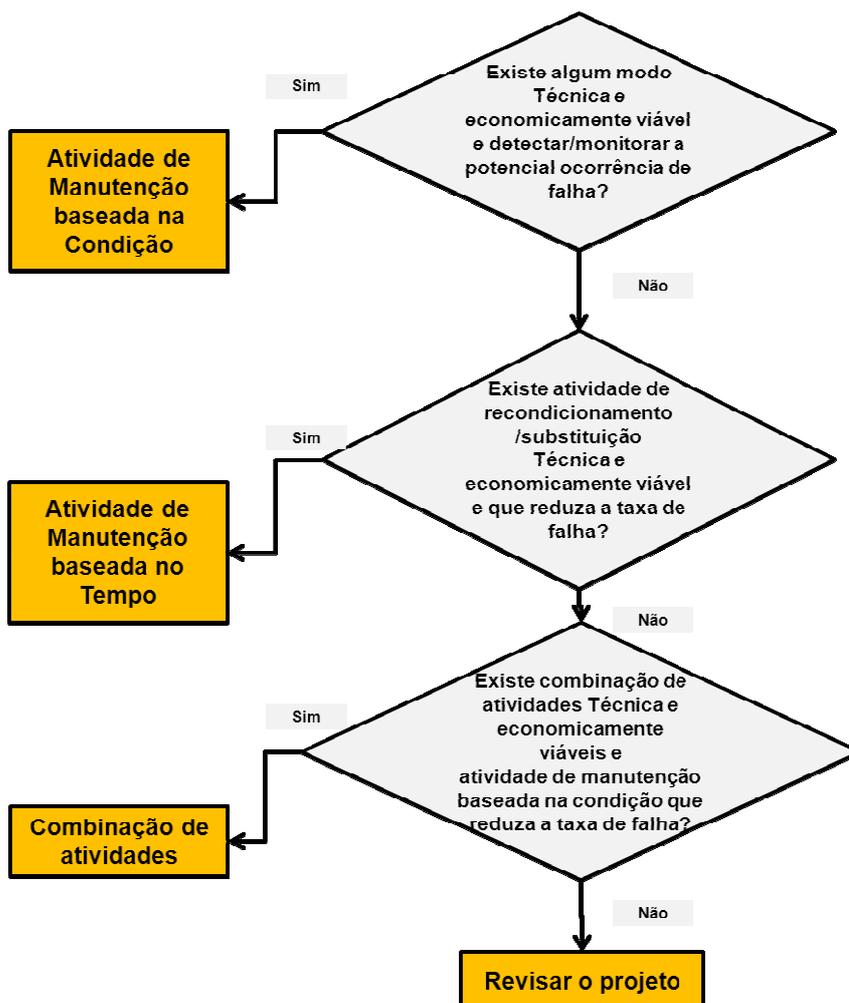


Figura 13 – Revisão de projeto

- **Quantificar e Aceitar o Risco (QA)**

No caso de modo de falha com consequências graves, para o qual não se encontre uma atividade preventiva eficaz e a modificação do projeto também não é viável, será necessário quantificar as consequências e formalizar o aceite do risco que se está correndo. Neste caso será importante verificar a necessidade de ação de contingência para minimizar e controlar a gravidade dos efeitos da falha caso ocorra.

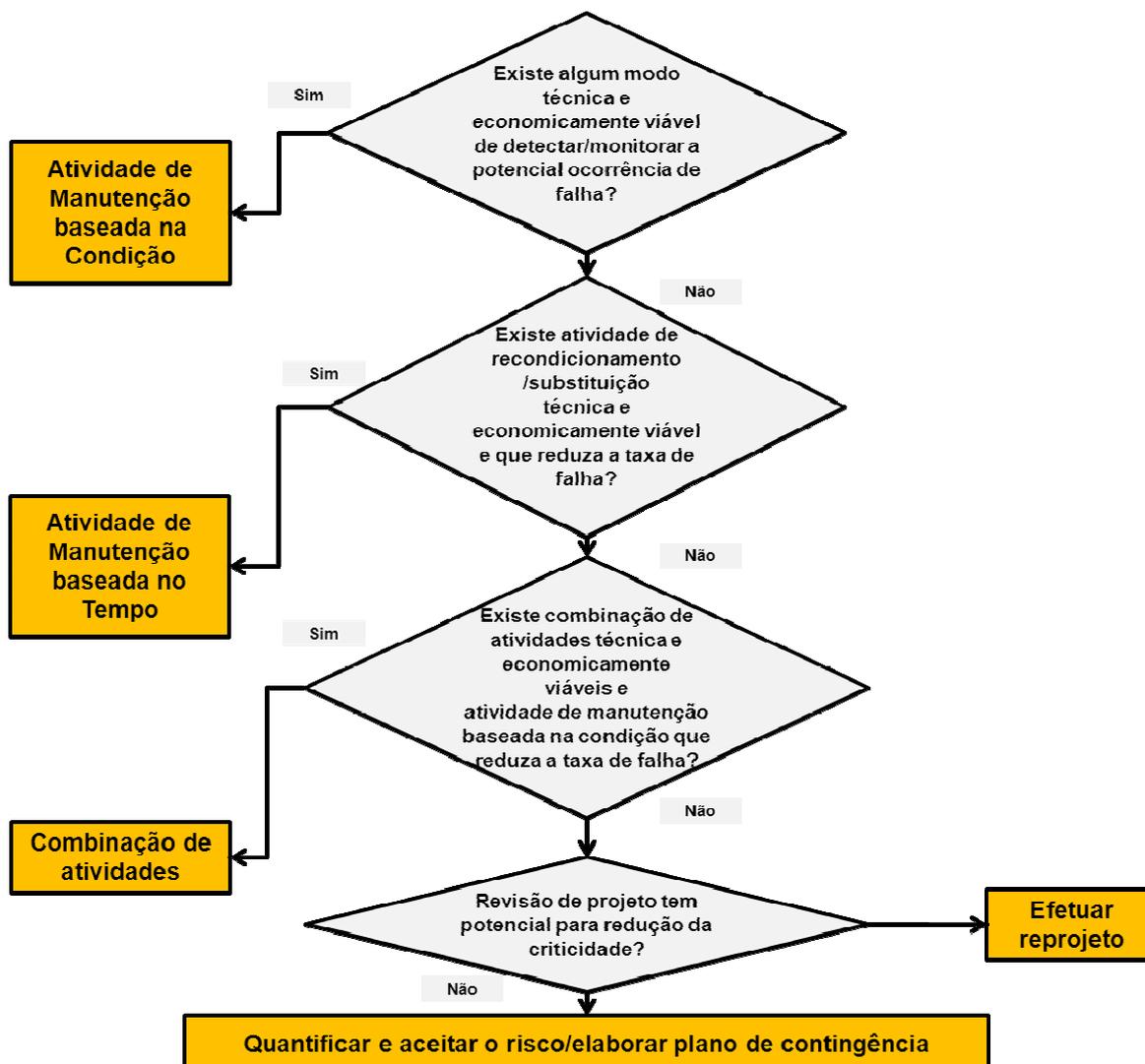


Figura 14 – Aceitar o Risco

▪ **Nenhuma Ação Preventiva (NP)**

No caso de modo de falha em que as consequências da falha não são graves e não se encontra uma atividade ou uma combinação de atividades tecnicamente viável e custo-eficiente que possa detectar/monitorar que a falha está prestes a ocorrer ou reduzir a taxa de falha, podemos neste caso efetuar manutenção corretiva (pós-falha).

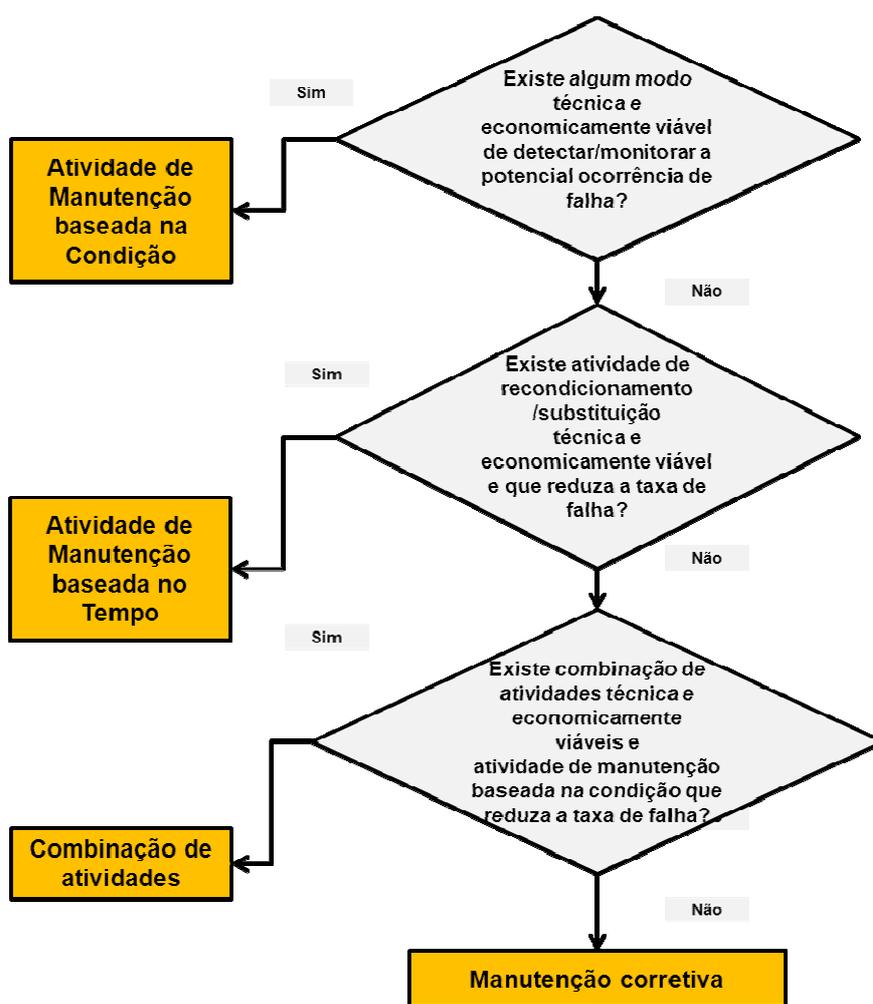


Figura 15 – Nenhuma ação preventiva

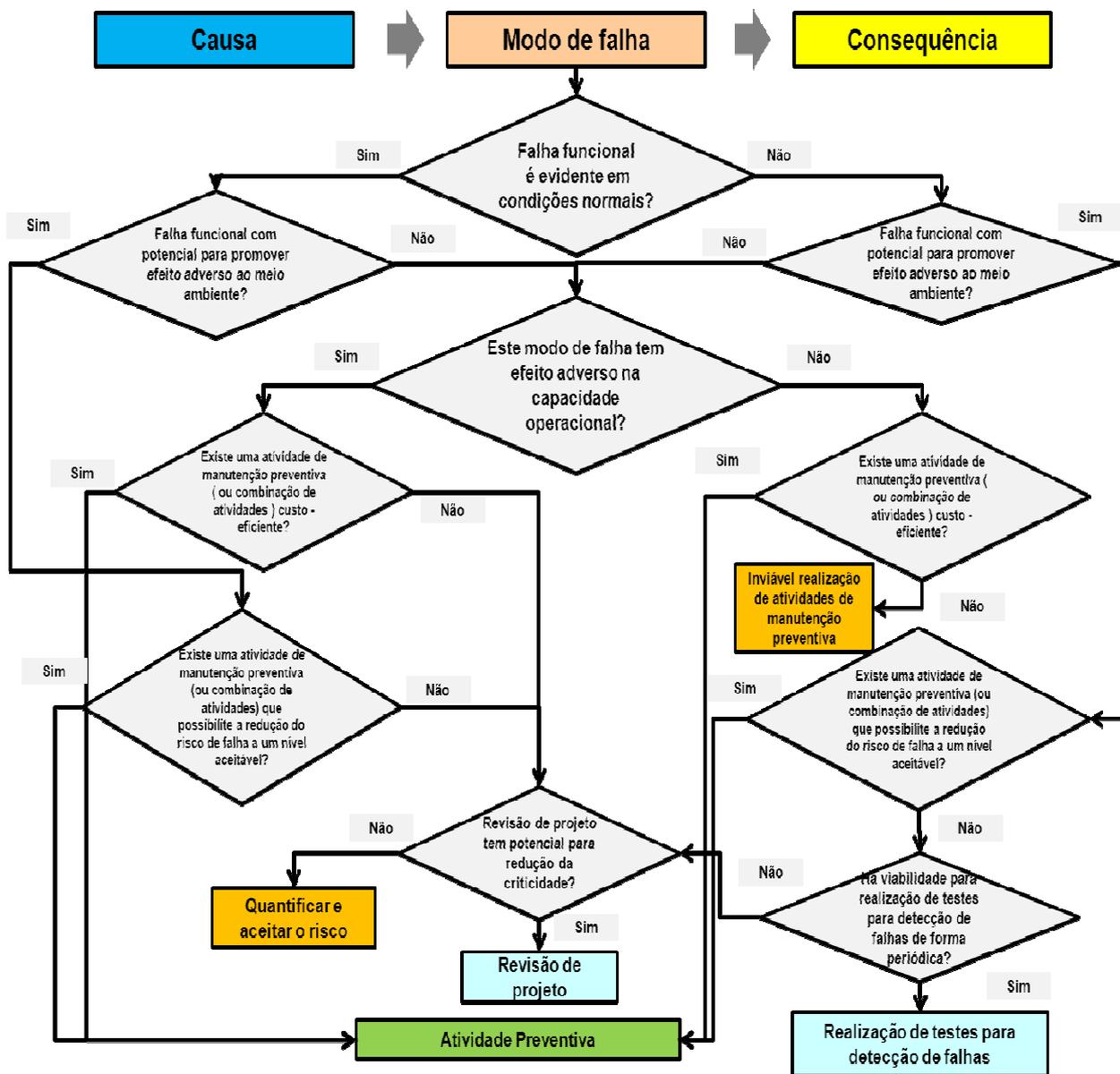


Figura 16 – Diagrama de decisão RCM

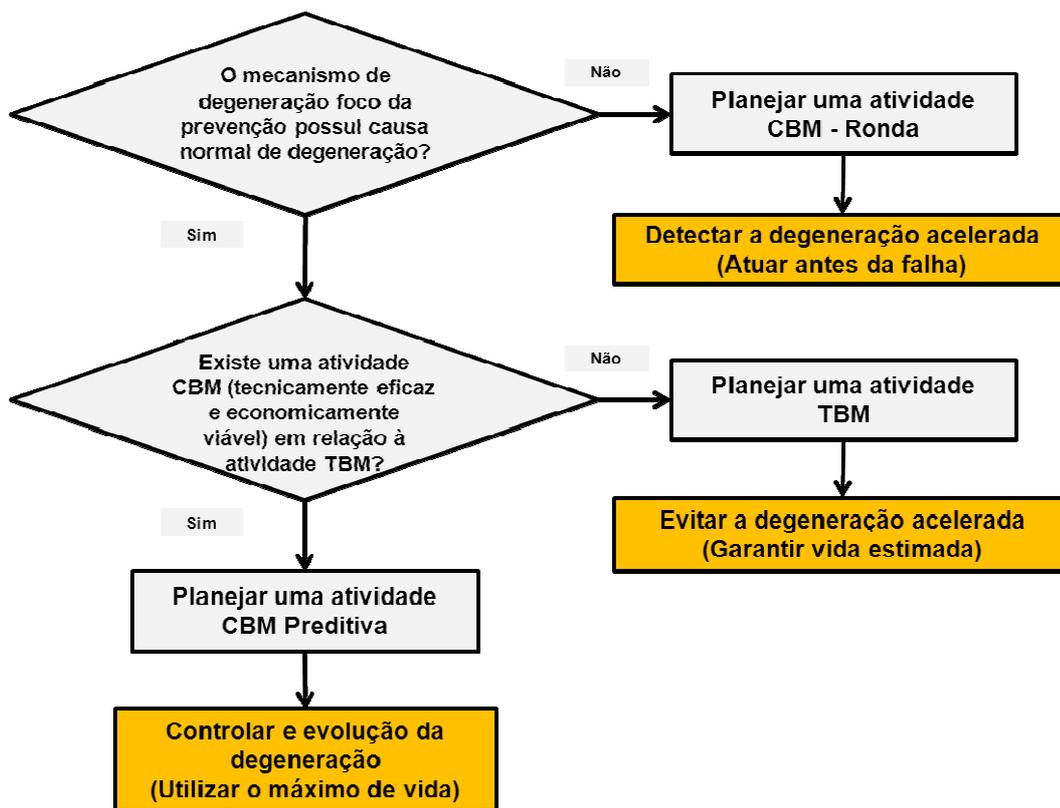


Figura 17 – Árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção

Para se contextualizar de forma prática tais atividades podemos descrevê-las em forma de fluxo conforme a seguir:

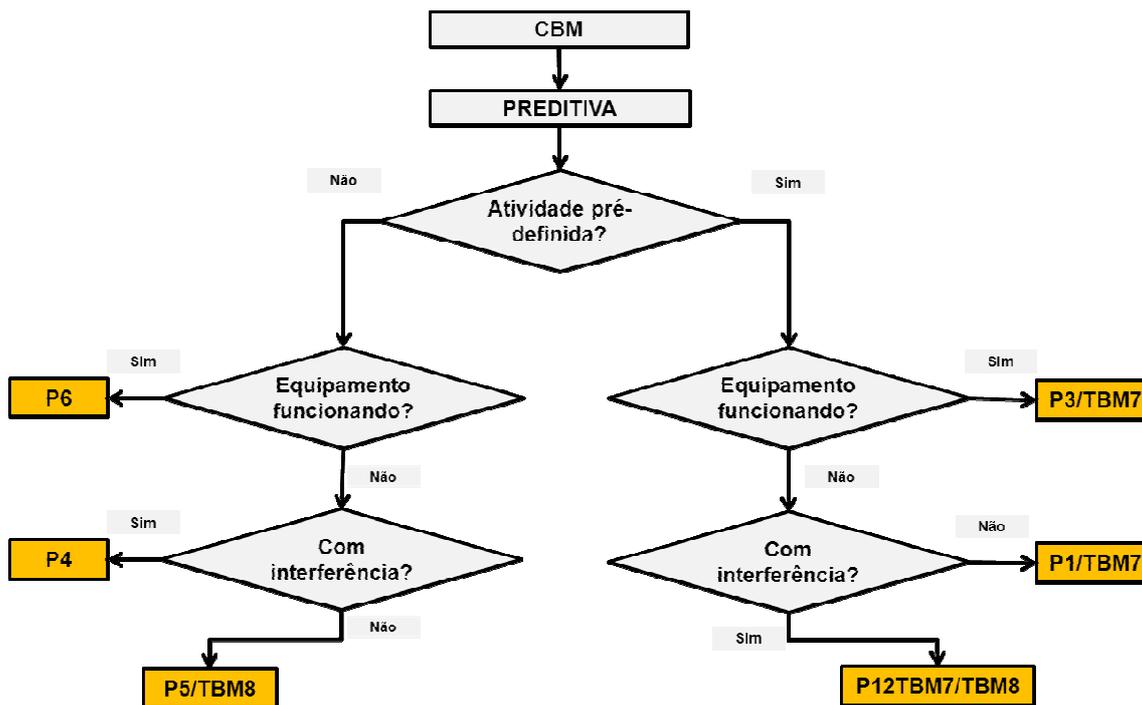


Figura 18 - Controlar a evolução da degeneração (utilizar o máximo de vida)

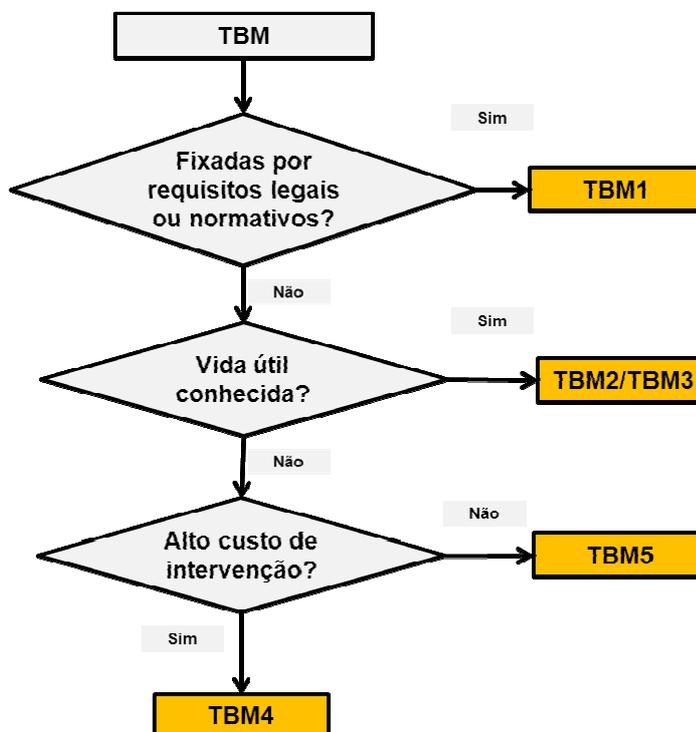


Figura 19 – Evitar degeneração acelerada (garantir vida estimada)

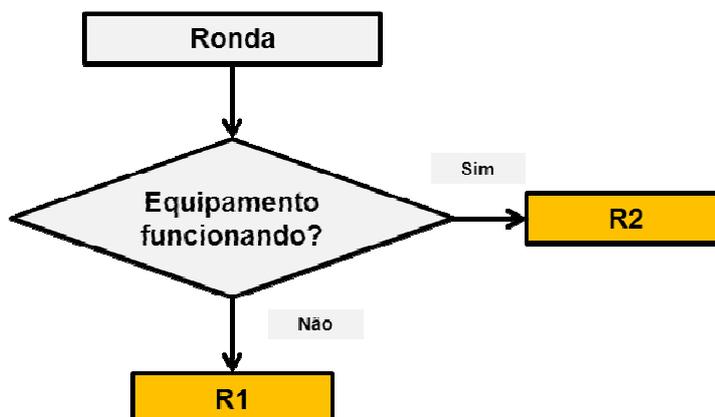


Figura 20 – Detectar degeneração acelerada (atuar antes da falha)

O objetivo desta análise é proporcionar subsídios a tomada de decisão frente a necessidade de intervenção de manutenção.

Considerando nesta fase, todas as interações e interferências que possam ser encontradas na realização das atividades, é possível elaborar um plano de manutenção mais adequado a realidade do equipamento e/ou sistema.

Para isso, sugere-se a classificação das atividades de manutenção em regimes, conforme figura 21.

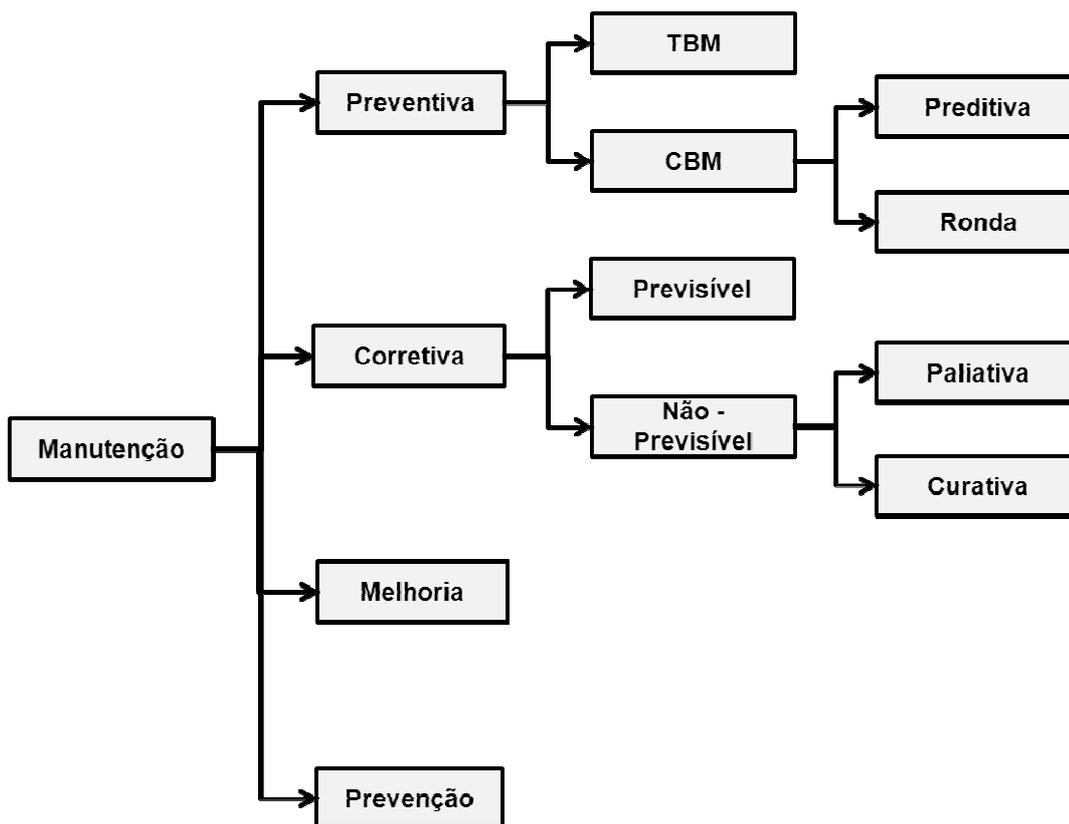


Figura 21 – Classificação da manutenção em regimes

Com base na classificação da manutenção em regimes apresentada na figura 21, é possível propor atividades de intervenção para cada regime conforme detalhados a seguir:

Atividades TBM

TBM 1 – Intervenção fixada por requisitos legais ou normativos

TBM 2 – Intervenção determinada em função do tempo de operação (vida útil conhecida)

TBM 3 – Intervenção determinada em função do tempo de operação (vida útil conhecida)

TBM 4 – Intervenção em período estimado com base na experiência (vida útil desconhecida)

TBM 5 - Intervenção em período estimado, porém, dependendo de avaliação para execução (vida útil desconhecida)

TBM 6 – Teste/inspeção em período estimado para descobrir falhas ocultas (TDF)

TBM 7 – Intervenção cuja avaliação está condicionada a uma avaliação realizada por uma inspeção de regime P1, P2 ou P3.

TBM 8 – Intervenção decorrente da necessidade de se fazer inspeção com interferência e sua programação é a mesma da atividade P2 ou P5 correspondente.

TBM 9 – Intervenção cuja ação tem por objetivo eliminar uma anormalidade identificada na inspeção de ronda regime R1 ou R2.

TBM 10 – Intervenção cuja ativação está condicionada a uma avaliação realizada por uma inspeção P4, P5 ou P6.

Atividades CBM Preditiva

P1 – Inspeção com equipamento parado, sem interferência, cuja atividade fim (regime TBM 7) é previamente planejada

P2 - Inspeção com equipamento parado, com interferência, cuja atividade fim (regime TBM 7) é previamente planejada

P3 - Inspeção com equipamento funcionando, cuja atividade fim (regime TBM7) é previamente planejada

P4 - Inspeção com equipamento parado, sem interferência, cuja atividade fim (regime TBM10) não é previamente planejada

P5 - Inspeção com equipamento parado, com interferência, cuja atividade fim (regime TBM10) não é previamente planejada

P6 - Inspeção com equipamento funcionando, cuja atividade fim (regime TBM 10) não é previamente planejada

Atividades CBM Ronda

R1 - Inspeção com equipamento parado, sem interferência, cuja atividade (regime TBM9) fim não é previamente planejada

R2 - Inspeção com equipamento funcionando, cuja atividade fim (regime TBM9) não é previamente planejada

Atividade Corretiva Previsível

NP1 - Intervenção cuja ativação está condicionada a uma avaliação

Atividade Corretiva Não Previsível – Paliativa

PL1 - Intervenção realizada após um defeito ou uma falha , para recolocar de forma provisória a capacidade do item exercer a função requerida

Atividade Corretiva Não Previsível – Curativa

NP2 - Intervenção realizada após um defeito ou uma falha , para recolocar de forma definitiva a capacidade do item exercer a função requerida;

Atividade de Manutenção para melhoria

ML1 - Intervenção realizada para aumentar a capacidade, a disponibilidade, a confiabilidade e/ou a manutenibilidade e/ou reduzir custo.

Após definidas e analisadas as possibilidades e viabilidades de execução das atividades de manutenção à luz do cenário de risco objeto da análise com seu devido desdobramento e detalhamento necessário procede-se então com a aplicação da técnica baseada em exemplos práticos.

5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO EM SISTEMAS OPERACIONAIS DO SETOR DE ENERGIA E EFLUENTES DE UM EMPRESA DO SEGMENTO DE UTILIDADES

Os sistemas operacionais escolhidos para aplicação do método proposto são relacionados setores de Energia e Águas e Efluentes de uma empresa do segmento de utilidades a qual citaremos Organização A.

Os sistemas considerados possuem suas peculiaridades no que tange a risco ambiental, pois tratamos de contexto bastante diferentes do ponto de vista de equipamentos e processos, sendo uma unidade de transmissão de energia elétrica pertencente ao setor de Energia e uma estação de tratamento de água pertencente ao setor de Águas Efluentes da organização A.

5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UMA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

5.1.1 Cenários de risco ambiental relacionado a unidade de subestação de energia elétrica

Foram considerados os risco ambientais relacionados a falhas de equipamentos e sistemas relacionados a vazamento/derramamento de óleo isolante em transformadores de potencia, reatores e disjuntores entre outros equipamentos que compõem uma unidade de subestação de energia elétrica.

Esses equipamentos são constituídos, em sua maioria, por ferro, presente na carcaça e no núcleo; cobre, presente nas bobinas do núcleo; papel do tipo isolante das bobinas de cobre; madeira, que serve de base de sustentação do núcleo (suporte mecânico); borracha, utilizada na vedação da tampa e óleo mineral isolante, no qual fica imerso o núcleo. A vida útil deste tipo de equipamentos está diretamente ligada à qualidade dos seus componentes isolantes.

O óleo isolante desempenha uma função importante no isolamento e no resfriamento das partes ativas de um equipamento e, para o perfeito funcionamento deste, as características físico-químicas do óleo devem ser preservadas.

Parte importante na manutenção destes equipamentos são as atividades relacionadas ao óleo isolante.

Justifica-se então o potencial risco de vazamento ou derramamento durante a execução das atividades de operação e manutenção.

Este risco justifica a preocupação da sociedade e soma-se ao histórico de acidentes ambientais nesta atividade, merecendo ênfase os acidentes relacionados a utilização de PCB, óleo em fase de substituição e destinação final pelo setor elétrico¹.

Outro risco ambiental relevante em subestações são as emissões de hexafluoreto de enxofre (SF₆) em comutadores.

As propriedades físicas e químicas do SF₆ foram determinadas até meados de 1930, com especial destaque para suas características químicas e dielétricas.

As primeiras investigações da aplicabilidade deste gás na indústria foram desenvolvidas em 1937 pela General Electric Company tendo se concluído que o mesmo poderia ser utilizado como gás dielétrico em subestações.

Largamente utilizado em diversos equipamentos e componentes de subestações de energia elétrica, sua eficiência é comprovada e consolidada (COSTA, 2004).

Uma desvantagem importante da utilização deste gás em escala industrial é seu alto PAG - potencial de aquecimento global².

Perdas e vazamentos deste produtos são comuns, e seu monitoramento e ações são promovidas com enfoque dentro da segurança operacional. Seu apelo ambiental vem ganhando eco de acordo com a elaboração e entrada em vigor de políticas de emissão de gases de efeito estufa, como a Decisão 2004/156 da Comunidade Europeia³.

¹ A norma ABNT NBR 8371: estabelece orientações para manuseio, acondicionamento, rotulagem, armazenamento, A norma ABNT NBR 8371: estabelece orientações para manuseio, acondicionamento, rotulagem, armazenamento, transporte, procedimentos para equipamentos em operação e destinação final (óleo contaminado, equipamentos contaminados, Ascarel).

² O potencial de aquecimento global representa a capacidade de absorção de radiação térmica dos diferentes gases de efeito estufa em comparação com a capacidade do dióxido de carbono (CO₂).

³ Decisão 2004/156/CE da comissão de 29 de enero de 2004, pela qual se establece diretrizes para o seguimento e notificação das emissões de gases de efeito estufa em conformidade com a Diretiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho.

5.1.2 Aplicação do método proposto para análise de risco ambiental relacionado a falhas de sistemas em unidades de subestações de energia elétrica

Segundo a análise executada com base no método proposto, foi possível avaliar a aplicabilidade da técnica por meio da seleção de algumas unidades funcionais para estudo dos aspectos ambientais relacionado a modos de falhas, e por consequência grande interface com o cotidiano das práticas de operação e manutenção.

A análise foi realizada com base no método proposto conforme etapas descritas na figura 7 – Fluxograma de análise de aspectos e riscos ambientais no formato da matriz proposta podendo ser verificado no anexo 1.

Foram considerados aspectos gerados nas atividades relacionadas ao modo de operação da subestação, possuindo ou não relacionamento com falhas de sistemas. Esta mescla de cenários contribuiu para validação prática do método onde discutimos os casos 1, 2 e 3.

Com base nos resultados obtidos do ponto de vista de criticidade do risco ambiental, procede-se então a definição de atividades de manutenção centrada em confiabilidade (RCM).

É possível realizar a leitura do risco por meio deste método iniciando pela criticidade e finalizando no sistema operacional, com o intuito de nortear a equipe de manutenção frente ao cenário que será foco de análise.

5.1.2.1 Caso 1

Sistema Operacional: Subestação SE

Unidade funcional: Reator 500 kV

Aspecto analisado: Risco comprometedor relacionado potencial de contaminação do solo e da água por vazamento de óleo isolante (pela passagem do cabo acelerômetro) durante operação de subestação (para manutenção do fluxo de

potencia) procedente do reator 500 kV de barra fase B, pertencente a Subestação A do Setor de Utilidades da Organização A.

Com base no risco descrito, procedemos às etapas aplicáveis propostas pelo sistema de gerenciamento de manutenção:

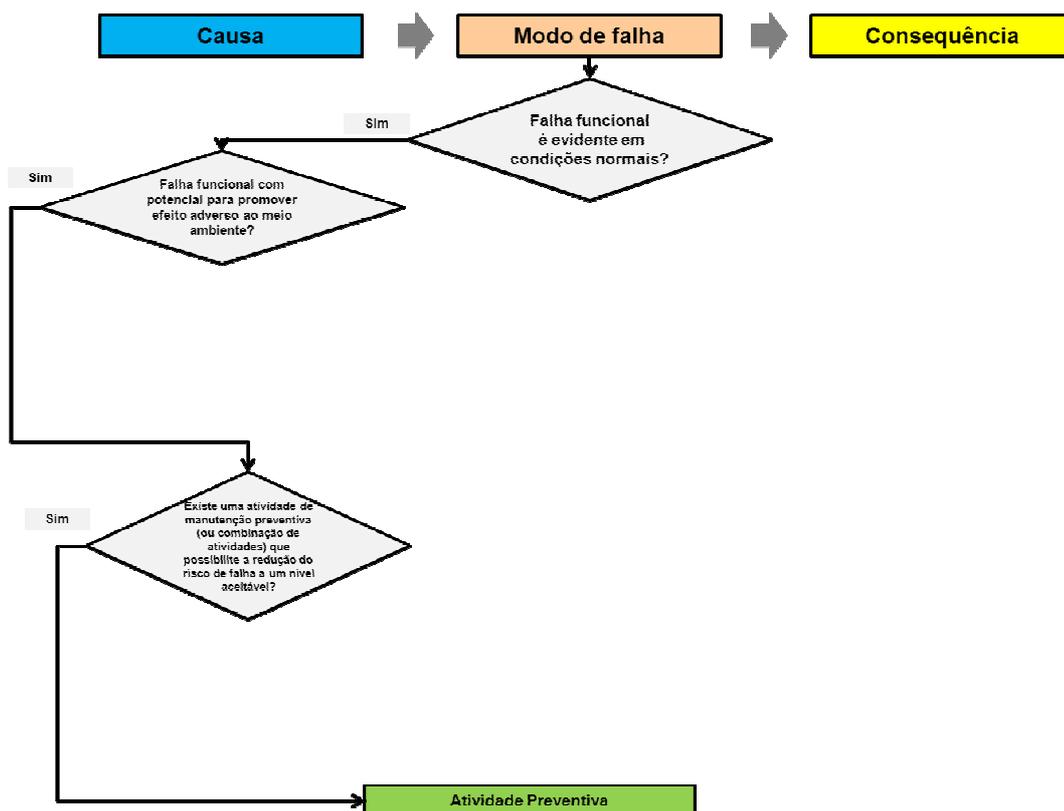


Figura 22 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 1

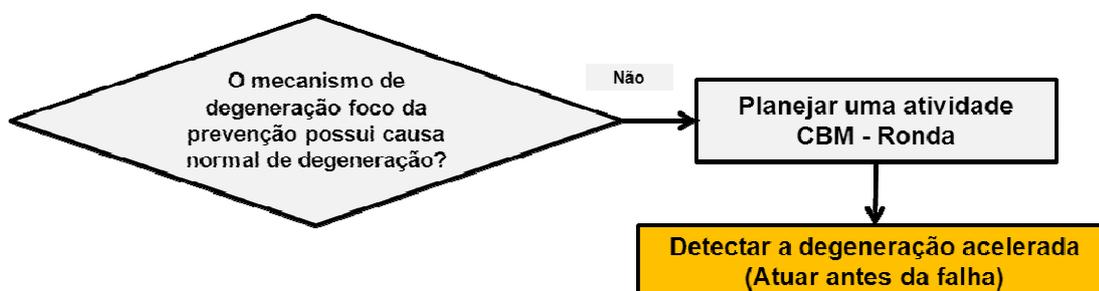


Figura 23 – Aplicação da árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção – Caso 1

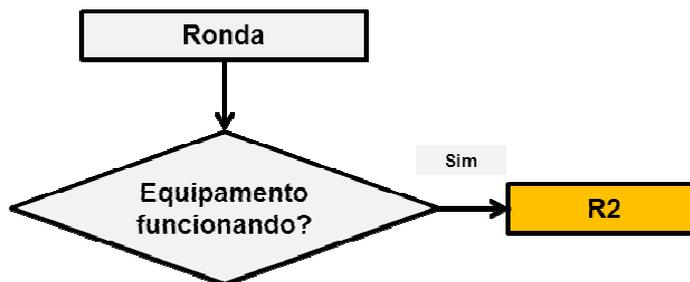


Figura 24 – Aplicação da detecção de degeneração acelerada (atuar antes da falha)
– Caso 1

5.1.2.2 Caso 2

Sistema Operacional: Subestação SE

Unidade funcional: Disjuntor a óleo

Aspecto analisado

Risco comprometedor relacionado potencial de contaminação do solo e da água por vazamento de óleo isolante (pelo flange lateral) durante operação de subestação (para manutenção do fluxo de potencia) procedente do Disjuntor INDJ7-03 fase V, pertencente a Subestação A do Setor de Utilidades da Organização A.

Com base no risco descrito procedemos as etapas aplicáveis proposta pelo sistema de gerenciamento de manutenção:

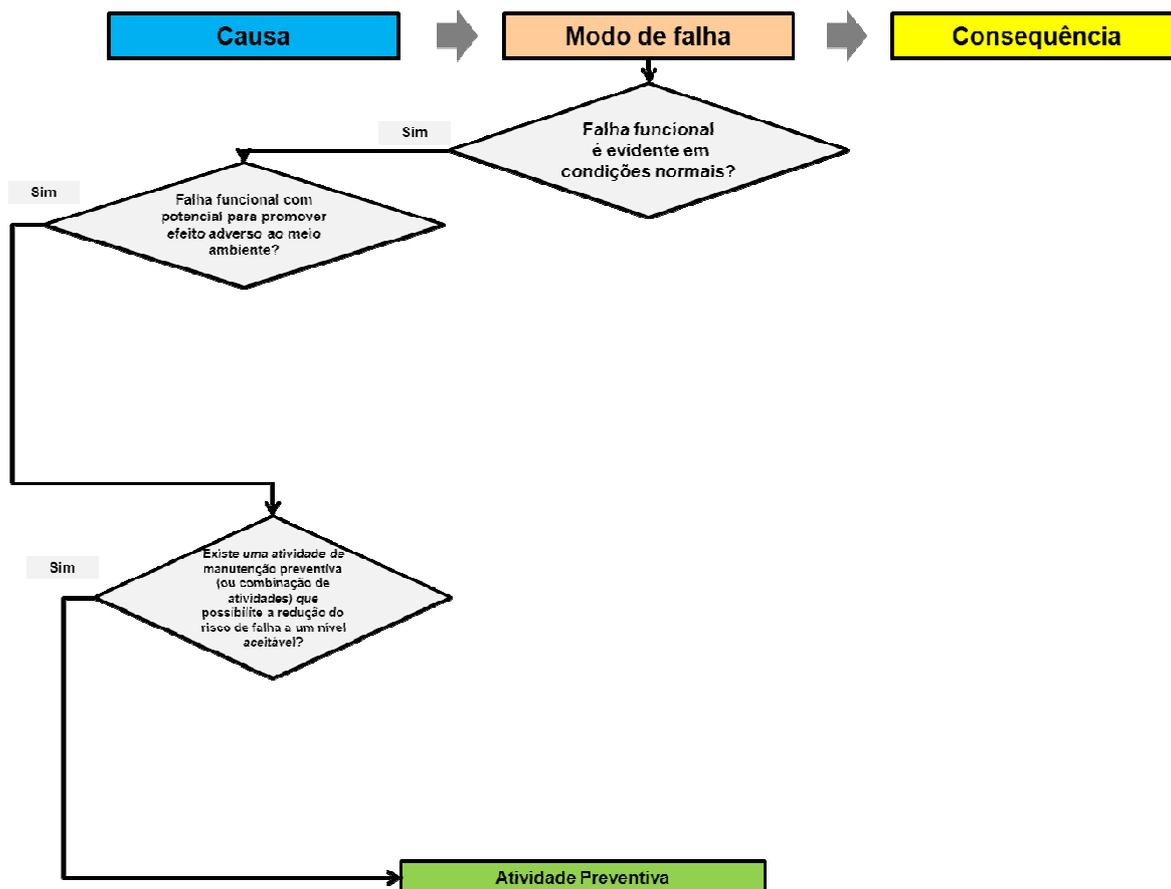


Figura 25 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 2

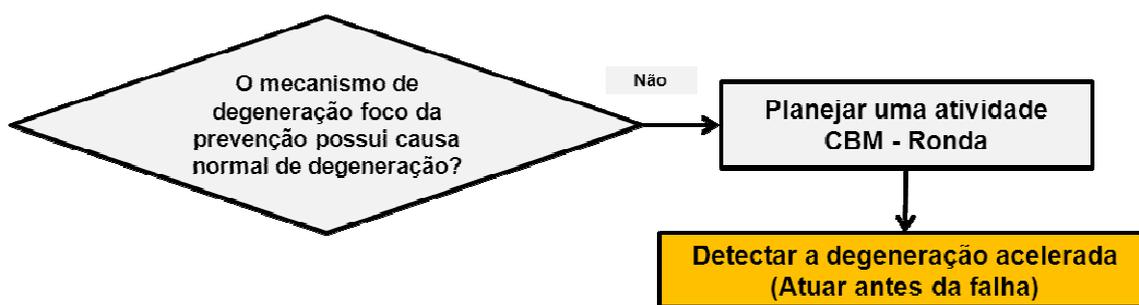


Figura 26 – Aplicação da árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção – Caso 2

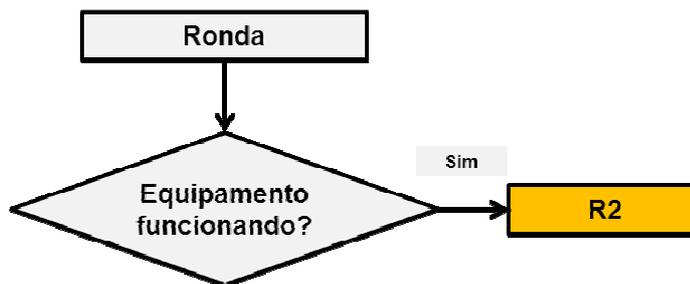


Figura 27 – Aplicação da detecção de degeneração acelerada (atuar antes da falha)
– Caso 2

5.1.2.3 Caso 3

Sistema Operacional: Subestação SE

Unidade funcional: Disjuntor SF6

Aspecto analisado: Risco comprometedor relacionado potencial de emissão direta de gases do efeito estufa com alto PAG durante operação de subestação (para manutenção do fluxo de potencia) procedente de disjuntor SF6, pertencente a Subestação A do Setor de Utilidades da Organização A.

Com base no risco descrito procedemos as etapas aplicáveis proposta pelo sistema de gerenciamento de manutenção:

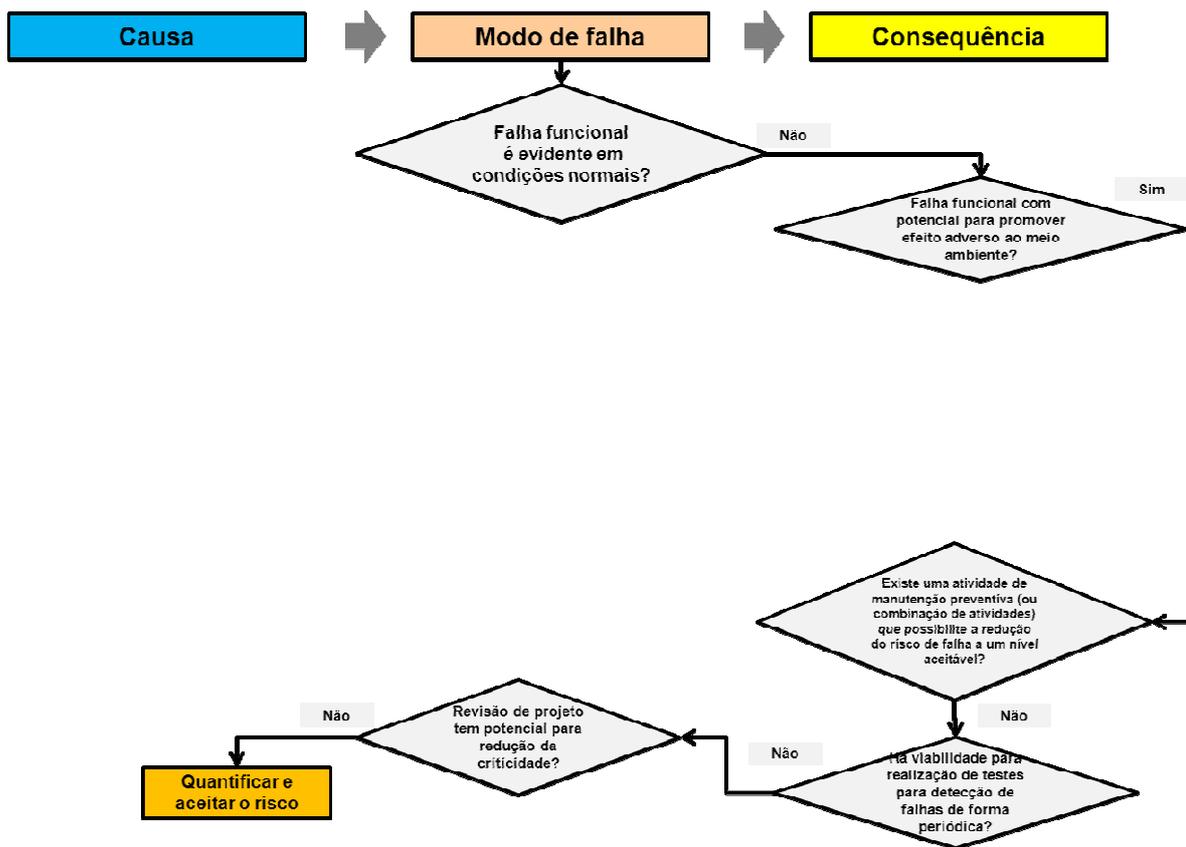


Figura 28 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 3

5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UMA UNIDADE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

5.2.1 Cenários de risco ambiental relacionado a unidades de estações de tratamento de água

Para entendimento do cenário proposto para análise de risco ambiental é importante considerar o processo de tratamento de água desde a captação até desinfecção, sendo esta última nosso foco de análise por contemplar a atividade de desinfecção a base de CL_2 ⁴.

⁴ Desinfecção a base de cloro

Prevenir a ocorrência de acidentes é uma dificuldade que está presente diariamente nas diversas atividades desenvolvidas pela sociedade independentemente das medidas de controle consideradas. Através dos anos, vários acidentes graves envolvendo o composto cloro ameaçam a vida humana e vem sendo registrados em diversos locais, como Taiwan, Espanha e outros (MARCO, PENA & SANTAMARIA, 1998). Segundo TSAI et al (2005) um único vazamento de gás cloro ocorrido em Taiwan nas proximidades da cidade de Kaoshiung durante os anos 80 foi responsável pela hospitalização de mais de 1.600 pessoas.

Uma análise histórica de acidentes envolvendo o armazenamento de cilindros de cloro pressurizados realizada na França mostrou que sua utilização nos processos de tratamento de água e na cloração de piscinas representam mais de um terço (37,7%) do total de acidentes registrados relacionados ao gás cloro (DUSSERRE et al, 2003).

O gás cloro é utilizado no processo de tratamento de água durante a etapa de desinfecção, onde os vírus patogênicos e bactérias que ainda podem estar contidos na água são removidos para assegurar sua potabilidade. A utilização de cloro, ou cloração, é o método de desinfecção mais utilizado pois a adição de um agente desinfetante como gás cloro e seus compostos (hipoclorito de sódio, cal clorada, cloraminas orgânicas) são fáceis de dissolver na água, são baratos e eficientes para eliminação de possíveis microrganismos restantes (MACEDO, 2001).

O cloro é um gás de cor amarelo-esverdeado a temperatura ambiente, liquefeito quando comprimido, que possui um odor extremamente forte, irritante e asfixiante. É pouco solúvel em água e aproximadamente duas vezes e meio mais denso que o ar. O gás cloro não é inflamável e nem explosivo por si só, mas reage explosivamente com muitos produtos químicos como: acetileno, éter, amônia, e hidrogênio. Ele também é um forte agente oxidante, reage com várias substâncias orgânicas e inorgânicas presente na água de abastecimento (FONTANIVE, 2005 apud GULOGLU et al., 2001).

5.2.2 Risco ambiental relacionado a falhas de sistemas em estações de tratamento de água

Segundo a análise executada com base no método proposto foi possível avaliar a aplicabilidade da técnica por meio da seleção de unidades funcionais com maior relevância do ponto de vista de risco ambiental, o que naturalmente dirigiu a análise para os sistemas relacionados à adição de químicos.

A análise foi realizada com base no método proposto conforme etapas descritas na figura 7 – Fluxograma de análise de aspectos e riscos ambientais no formato da matriz proposta podendo ser verificado no anexo 2.

Para validação da prática de aplicação do método discutimos os casos 4, 5 e 6 e com base nos resultados obtidos do ponto de vista de criticidade do risco ambiental, procede-se então a definição de atividades de manutenção centrada em confiabilidade (RCM).

Também se mostrou possível realizar a leitura do risco por meio deste método iniciando pela criticidade e finalizando no sistema operacional, com o intuito de nortear a equipe de manutenção frente ao cenário que será foco de análise.

5.2.2.1 Caso 4

Sistema Operacional: Estação de Tratamento de Água

Unidade funcional: Flocculação/Coagulação

Aspecto analisado: Risco comprometedor relacionado potencial de contaminação do solo e da água por vazamento de cloreto férrico (pela vedação ineficiente bomba dosadora) durante dosagem de cloreto ferroso procedente da unidade de Flocculação/Coagulação, pertencente a Estação de Tratamento de Água do Setor de Utilidades da Organização A.

Com base no risco descrito procedemos as etapas aplicáveis proposta pelo sistema de gerenciamento de manutenção:

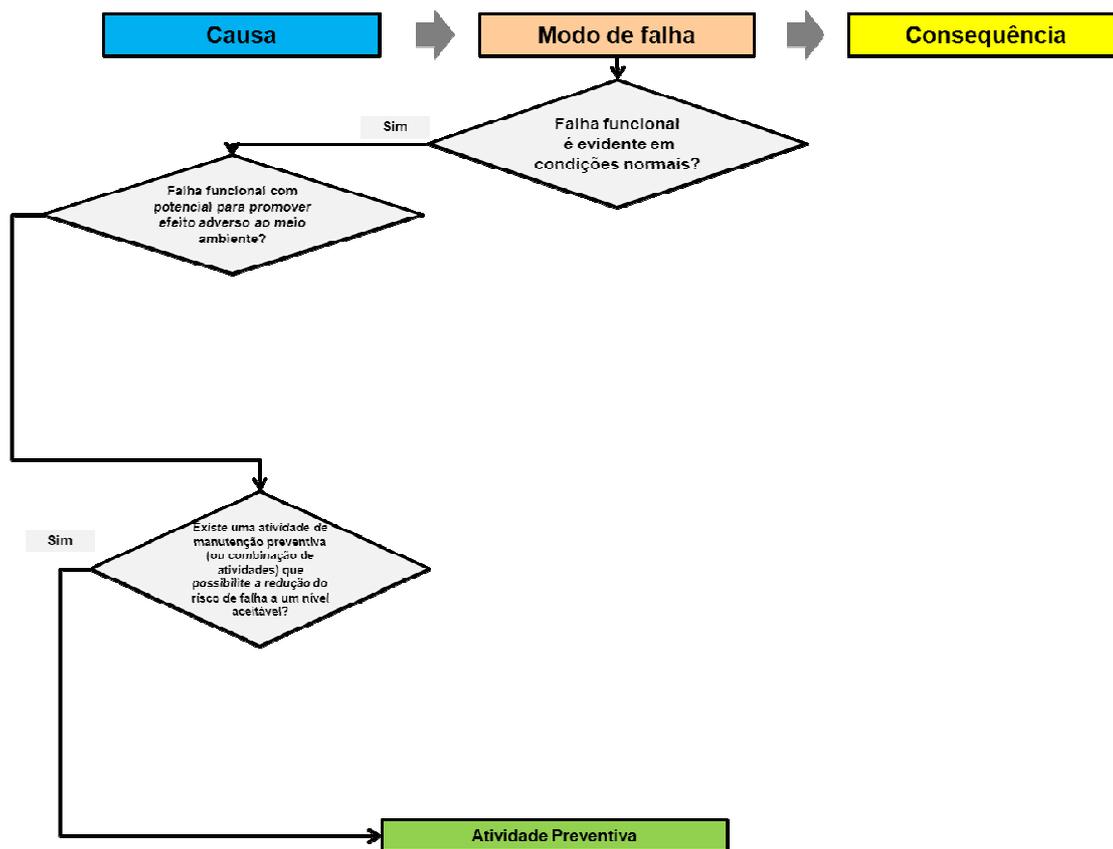


Figura 29 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 4

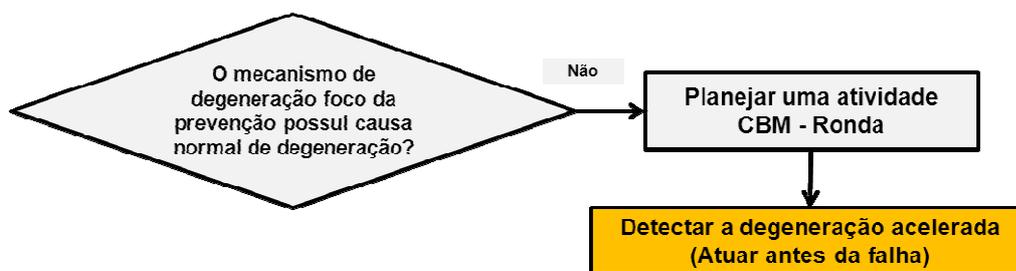


Figura 30 – Aplicação da árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção – Caso 4

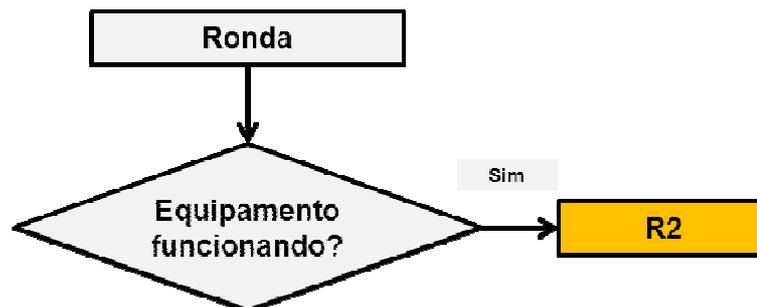


Figura 31 – Aplicação da detecção de degeneração acelerada (atuar antes da falha)
– Caso 4

5.2.2.2 Caso 5

Sistema Operacional: Estação de Tratamento de Água

Unidade funcional: Flocculação/Coagulação

Aspecto analisado: Risco comprometedor relacionado potencial de contaminação do solo e da água por vazamento de cloreto férrico (pela conexão da bomba dosadora e a linha de aplicação do produto) durante dosagem de cloreto ferroso procedente da unidade de Flocculação/Coagulação, pertencente à Estação de Tratamento de Água do Setor de Utilidades da Organização A.

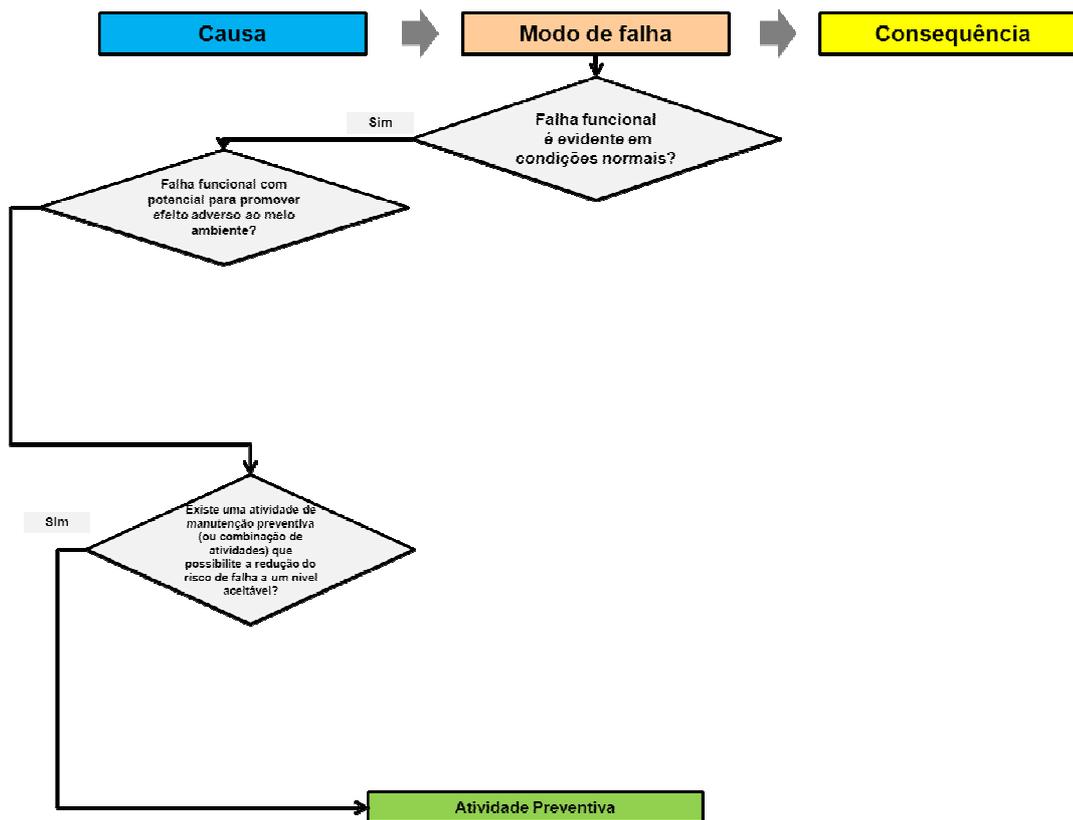


Figura 32 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 5

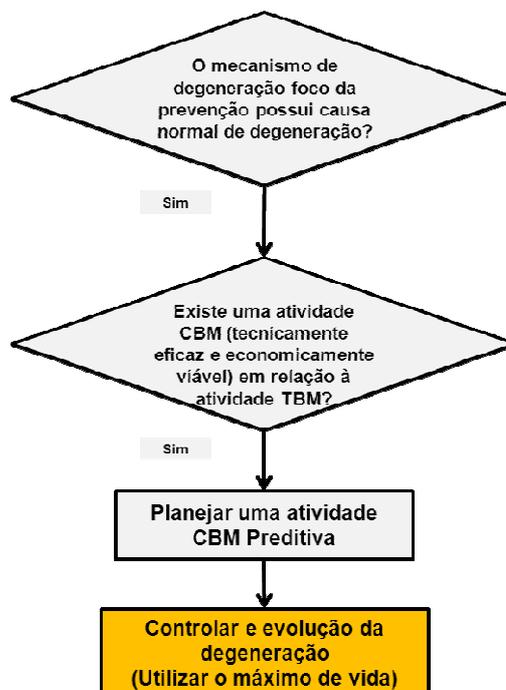


Figura 33 – Aplicação da árvore de Decisão para escolha do Tipo de Manutenção Preventiva e o Regime de Manutenção – Caso 5

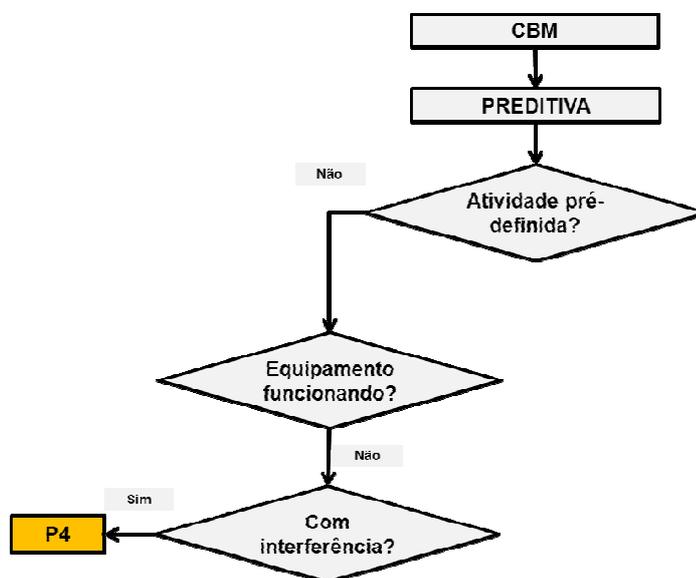


Figura 34 - Controlar a evolução da degeneração (utilizar o máximo de vida) – Caso 5

5.2.2.3 Caso 6

Sistema Operacional: Estação de Tratamento de Água

Unidade funcional: Alimentação de cloro para desinfecção

Aspecto analisado: Risco inaceitável relacionado a potencial de contaminação aguda do ar por emissões de Cl₂ para a atmosfera por vazamento de cloro (pela conexão manifold - cilindro) durante injeção de cloro para desinfecção de água em tratamento, procedente da unidade de Desinfecção/Cloração, pertencente à Estação de Tratamento de Água do Setor de Utilidades da Organização A.

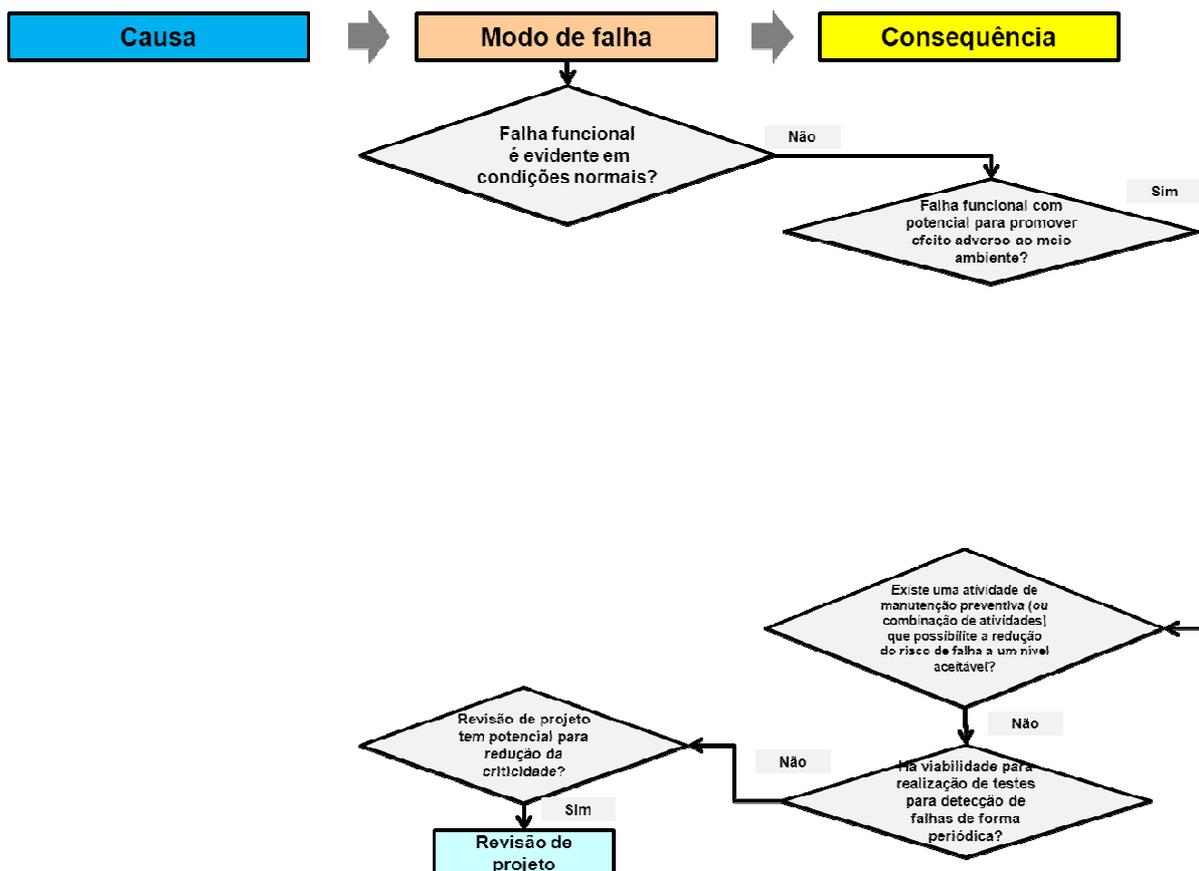


Figura 35 – Aplicação do diagrama de decisão do RCM – Caso 6

6 CONCLUSÃO

Considerando-se que todo e qualquer sistema de gestão, como seu próprio conceito advém de sistemática, que fornece capacidade aos sistemas para exercer sua adaptabilidade frente aos desafios que em gestão são correlatos a compromissos, este trabalho enfatiza esta dinâmica, uma vez que passa de uma análise de um sistema já existente, sem entrar no mérito de sua eficiência ou eficácia de suas ações promovidas até elaborar e propor um método com potencial de aplicação prática.

Para isto é necessário conhecer o contexto onde o método foi desenvolvido e detalhes onde fora aplicado para entendimento de suas fortalezas e fragilidades, e com base nesta sistemática definida incorporar recursos ao método para aumentar sua abrangência e aplicabilidade.

Nos casos em estudo, frente aos métodos propostos, é importante ressaltar que os critérios considerados para definição dos caminhos apresentados se basearam no contexto estudado e tomou-se o cuidado de se resguardar o escopo da pesquisa que tem seu foco na sistemática de aplicação de FMEA e RCM com as entradas sendo consideradas desde a fase inicial de planejamento do sistema de gestão à luz da ISO 14001:2004, deixando as etapas de maior detalhamento do ponto de vista de manutenção como um dos focos de proposição de trabalhos futuros, uma vez que foram observadas inúmeras potencialidades de ganhos para a organização e para os sistemas nela contemplados.

Apesar da norma supra mencionada definir através de seus requisitos o que é necessário para que uma organização possa estar em conformidade com os mesmos e a partir daí pleitear certificar um escopo definido frente a estes requisitos, ousamos dizer que, como é possível possuir um sistema de gestão ambiental e de manutenção sem esta certificação, também existe potencial de aplicabilidade deste método nestes casos, desde que todas as fases nele contempladas estejam presentes.

6.1 SÍNTESE

A estrutura deste trabalho foi construída apoiada em sistemáticas definidas e consolidadas em sua área de atuação e abrangência.

Na fase inicial de estruturação e planejamento do método são consideradas as premissas do método PDCA incorporada à norma ISO 14001:2004, proporcionando melhor visualização dos requisitos a serem atendidos pelo sistema de gestão ambiental e prospectar o link com os controles operacionais requeridos na fase de implementação e operação. A técnica do FMEA aparece em diversas literaturas e contextos distintos, porém o que se observa é sua incontestável aplicabilidade na análise que conduz a estudos das causas raízes da maioria dos problemas encontrados.

Neste contexto surge a aplicação Manutenção centrada em confiabilidade utilizando as saídas da avaliação de aspectos ambientais, já incluída a análise de modos e efeitos de falhas como base para classificação do risco e promoção de ações e programas de manutenção.

Por fim, com a aplicação prática por meio de casos estudados, observamos o potencial de aplicação do mesmo em diversos cenários.

Com os dados apresentados na fase de contextualização do trabalho, relativos aos riscos ambientais presentes nas diversas atividades industriais e de serviços, somando-se a preocupação de toda a sociedade e principalmente dos órgãos responsáveis em regulamentar e se apoiar nos controles destes riscos para permitir a entrada em operação e a continuidade operacional de atividades potencialmente poluidoras, cada vez mais percebemos espaço para o crescimento de utilização de métodos como este apresentado, com o claro objetivo de atuar na prevenção de riscos ambientais.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Com base na experiência vivenciada pelo presente estudo e nos resultados obtidos é recomendável estudos de aplicabilidade em outros processos e riscos.

Observa-se um potencial exploratório para utilização desta metodologia com analogia aos riscos de segurança e saúde ocupacional, tendo como base a norma OSHAS 18001, enfatizando a fase de levantamento e avaliação de perigos e riscos. Outro potencial interessante, este já mais estudado, conforme literatura estudada é a aplicação na gestão para garantia da qualidade com forte aproximação frente aos requisitos da ISO 9001:2008 e das diversas metodologias aplicáveis ao mapeamento de processos.

Entende-se que a exploração do RCM pode ser mais detalhada com o enfoque de levantar maiores potencialidades na gestão de riscos de equipamentos críticos e principalmente com maior histórico de falhas, com viés importante na revisão de projetos de engenharia.

Outro enfoque com potencial de abordagem seria a aplicação de metodologias que possam apoiar a tomada de decisão quando da atribuição de valores e pontuação. Partindo-se do princípio que há diversas combinações de circunstâncias entre dois valores atribuídos pode-se estudar a viabilidade de aplicação de metodologias como a lógica nebulosa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2005. 27 p.

_____. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

_____. **NBR ISO 19011**: Diretrizes para auditorias de sistema de gestão da qualidade e/ou ambiental. Rio de Janeiro, 2002. 25 p.

ANDRADE, M. R.; TURRIONE, J. B. **Uma metodologia de análise dos aspectos e impactos Ambientais através da utilização do FMEA**. Universidade Federal de Itajubá, 2002.

BRITISH STANDARD. **BS 4778**: Quality vocabular . Avalability, reliability and main mability terms. Guide to concept and reletad definition. 1991 Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2005. 27 p.

CARDOSO, P. M. **Adaptação de um sistema de medição de gases dissolvidos em óleo mineral isolante para monitoração de múltiplos transformadores de potencia**. Dissertação de mestrado – Programa de pós graduação em metrologia científica e industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 242 p.

COSTA, F. M. P. P. S. **Poluição atmosférica associada a produção e transporte de eletricidade**: Emissões de Hexaflureto de Enxofre e o efeito estufa. Porto, 2004. 127 p. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2004.

BECK, U. From Industrial to Risk Society: questions of survival, social structure and ecological enlightenment. In: **Theory, Culture & Society**. London, 1992. n. 9, p.97-123.

DUSSERRE, G. et al. apud DPPR/SEI/BARPI. The use of water sprays for mitigation chlorine gaseous releases escaping from a storage shed. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. n. 16, p. 259-269. 2005

FEDERATION OF EUROPEAN RISK MANAGEMENT ASSOCIATIONS. **Norma de Gestão de Riscos**, 2003. Disponível em: < <http://www.ferma.eu/wp-content/uploads/2011/11/a-risk-management-standard-portuguese-version.pdf>>, Acesso em: 11 mar. 2012.

FELIX, R. J. B. **Uso de redes telemétricas no controlo do risco de infra-estruturas de abastecimento de água em zonas sísmicas**. Açores, 2009. Dissertação submetida para obtenção do grau de mestre em ambiente saúde e segurança, Universidade dos açores, 2009.

FERREIRA, I. H. F. **Gestão do risco industrial numa central termoelétrica de ciclo combinado**. Lisboa, 2008. 97 f. Dissertação para obtenção do Grau de mestre em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

FITZGERALD, M.E. **The emergency response plan**: key to compliance with the emergency response provisions of the hazardous waste operations and emergency response standard. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 11(9), p. 1154-1162. 1996.

FONTANIVE, S. apud GULOGLU et al. **Estudo de Análise de Risco do Cloro em Estações de Tratamento de Água**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FUENTES, F. F. E. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GILCHRIST, W. Modeling failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Bradford, v. 10, n. 5, p. 16-24, 1993.

KOWALSKI, K. M. (1995). **A human component to consider in your emergency management plans: the critical incident stress factor**. *Safety Science*, 20, 115-123.

HAMMET, P. **Failure Modes and Effects Analysis**. Michigan, USA, 2000.

HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. G. **Resilience engineering**: concepts and precepts. Aldershot, UK: Ashgate Publishing Co, 2006.

HOLLNAGEL, E. Risk + barriers = safety?. École des Mines de Paris – PôleCindyniques. **Safety Science**. Sophia Antipolis, France. n. 46. p. 221-229. 2007.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. São Paulo: Livraria Varela, 2001, 505 p.

MEYER, S. T. **O Uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública**. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.10, n 1, p. 99-110, jan./mar. 1994.

MARCO, E.; PENA, J. A.; SANTAMARIA, J. The chlorine release at flix (Spain) of January 21st 1996: a case study. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, n. 11, p. 153-160. 1998.

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**, Florianópolis, 2001. 146 p. Dissertação (Mestrado em Eng. Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

OOMMEN, T. V. Vegetable Oils for Liquid-Filled Transformers. **IEEE Electrical Insulation Magazine**, jan./fev. 2002.

PASCHOAL, D. R. S. et al. **Disponibilidade e confiabilidade: aplicação da gestão da manutenção na busca de maior competitividade**. Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA n. 03. jan./jun. 2009.

PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FOUENTE, D de L. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. International. **Journal of Quality & Reliability Management**, Bradford, v. 19, n. 2, p. 137-151, 2002.

SCAPIN, C. A. **Análise sistêmica de falhas**. Belo Horizonte: Editor de desenvolvimento gerencial, 1999.

SILVA, J. L.R. **Manutenção Preditiva em Transformadores Utilizando o Critério de Rogers na Análise de Gases Dissolvidos em Óleo Isolante**, Porto Alegre: ABRAMAN, 2003.

SERPA, R. R. Análise de árvore de eventos. **Introdução a análise de riscos**. São Paulo 2002.

_____. Gerenciamento de riscos ambientais. **Introdução a análise de riscos**. São Paulo, 2006.

SOUZA.; J B.; MARÇAL, R. F. M. **Reliability Centered Maintenance (RCM) e Failure Mode and Effects Analysis (FMEA):** uma reflexão teórica-analítica. In: SIMPEP, 2009, Bauru: XVI SIMPEP, 2009. p. 12.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. 2. ed. ASQC, Milwaukee: Quality Press, 2003. 494 p.

SHU, C. M., S., J. L. et al. apud IOSH Material Safety Sata Sheets. Emergency response plan of chlorine gas for process plantas in Taiwan. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. n. 21, p. 393-399. 2008

TSAI, E., SHU, C. M., LIN, Y. S., J. J. (2005). Using consequence analysis on some chlorine operation hazards and their possible effects on neighborhoods in central Taiwan. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 18, 474-480. 2005

WEAST, R. C. **CRC Handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data**. 60 th ed., Boca raton. 1979.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Sistema de Bibliotecas e Informação. **Manual para Elaboração e Normalização de Dissertações e Teses**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2004, 102 p. Disponível em: <<http://www.minerva.ufrj.br>> , Acesso em: 10 dez. 2011.

Sítios consultados em meio eletrônico

Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM)
<<http://www.abiquim.org.br>>

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)
<http://www.mma.gov.br/port/conama>

Environmental Protection Agency (EPA)
<<http://www.epa.gov/epahome/index1.html>>

ANEXOS

ANEXO 1 - APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO PROPOSTO EM SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (ANÁLISE INICIAL)

Avaliação de Aspectos Ambientais															
Setor		Utilidades SE			Fase		Operação			Data		20/5/2010			
Sistema Operacional		Subestação A			Resp. Elaboração		Engenheiro Senior			Resp. Revisão		Gerente Operacional			
Unidade funcional	Sistema funcional	Atividade	Aspecto Ambiental	Observações	Impacto Ambiental	Situação Temporal	Origem	Condição	Causa Potencial Relacionada a falhas em sistemas?	Análise					Significativo (S ou NS)
										F/P	S	L	PI	S	
Reator 500KV	Reator 500 Kv de Barra fase B	Operação de trafo manutenção do fluxo de potência	Vazamento de óleo isolante	Vazamento de óleo isolante pela passagem do cabo acelerômetro	Alteração da qualidade do solo e da água	Presente	Direta	Anormal	SIM						S
Disjuntor INDJ7-03 fase V	Disjuntor INDJ7-03 fase V	Operação de trafo manutenção do fluxo de potência	Vazamento de óleo isolante	Vazamento de óleo isolante por flange lateral	Alteração da qualidade do solo e da água	Presente	Direta	Anormal	SIM						S
Disjuntor SF6	Disjuntor SF6	Operação de trafo manutenção do fluxo de potência	Vazamento de SF6	Perdas de gás do equipamento	Emissão direta de gases do efeito estufa com alto PAG	Presente	Direta	Anormal	SIM						S
Grupo moto-gerador de emergência GE 001	Motor de combustão	Operação de trafo manutenção do fluxo de potência	Consumo de combustíveis fósseis (diesel)	Gerador responsável por manter alimentação elétrica em caso de queda da alimentação externa	Esgotamento dos recursos naturais	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	2	1	0	4	NS
Equipamentos de subestação em geral	Equipamentos em geral	Operação de trafo manutenção do fluxo de potência	Consumo de energia elétrica	Energia elétrica - fornecimento externo e consumo do terciário	Esgotamento dos recursos naturais	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	2	1	0	4	NS
			Consumo de Água Potável	Para consumo humano	Esgotamento dos recursos naturais	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	1	1	1	4	NS
			Geração de Ruído	Proveniente de equipamentos e máquinas utilizados	Polição Sonora	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	2	1	0	4	NS
			Geração de Emissões Atmosféricas	Sistema de exaustão da sala de baterias	Alteração da qualidade do solo e da água	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	1	1	0	3	NS

APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO PROPOSTO EM SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (ANÁLISE COMPLEMENTAR)

Avaliação de Aspectos Ambientais								
Setor	Utilidades - SE	Fase:	Operação	Data	20/5/2010			
Sistema Operacional	Subestação Abaixadora A	Elaborador:	Engenheiro Senior	Revisão	Gerente Operacional			
Análise complementar								
Unidade funcional	Falha funcional/Causa potencial	Modo de falha	Efeito da falha (= impacto ambiental)	Frequência/Probabilidade da Ocorrência da Causa	Gravidade/severidade de do Impacto	Grau de Detecção	Criticidade	Classificação do Risco
Reator 500KV	Vazamento de óleo isolante pela passagem do cabo acelerômetro	Deficiência em componentes de vedação do cabo	Alteração da qualidade do solo e da água	2	4	2	C2	Comprometedor
Disjuntor INDJ7-03 fase V	Vazamento de óleo isolante por flange lateral	Deficiência em componentes de vedação do flange	Alteração da qualidade do solo e da água	2	4	3	C2	Comprometedor
Disjuntor SF6	Vazamento de SF6	Perda de gás pelo selo - vedação não eficiente	Emissão direta de gases do efeito estufa com alto PAG	2	4	2	C2	Comprometedor

ANEXO 2 - APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO PROPOSTO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ANÁLISE INICIAL)

Avaliação de Aspectos Ambientais															
Setor		Utilidades - ETA			Fase		Operação			Data:		24/5/2010			
Sistema Operacional		Estação de Tratamento de Água			Resp. Elaboração		Engenheiro Senior			Resp. Revisão:		Gerente Operacional			
Unidade funcional	Sistema funcional	Atividade	Aspecto Ambiental	Observações	Impacto Ambiental	Situação Temporal	Origem	Condição	Causa Potencial Relacionada a falhas em sistemas?	Análise					Significativo (S ou NS)
										F/P	S	L	PI	S	
Floculação/Coagulação	Bomba dosadora	Dosagem de cloreto férrico	Vazamento de cloreto férrico	Tanques de cloreto férrico - isotanques de 1000 litros	Alteração da qualidade do solo e da água	Presente	Direta	Anormal	SIM						S
Desinfecção/Cloração	Conexão manifold - cilindro	Injeção de cloro para desinfecção de água em tratamento	Vazamento de cloro	Cloro gás (CL ₂)	Contaminação aguda do ar por emissões de Cl ₂ para a atmosfera	Presente	Direta	Anormal	SIM						S
Grupo moto-gerador de emergência GE 001	Motor de combustão	Operação normal	Consumo de combustíveis fósseis (diesel)	Gerador responsável por manter alimentação elétrica em caso de queda da alimentação externa	Esgotamento dos recursos naturais	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	2	1	0	4	NS
Equipamentos de subestação em geral	Equipamentos em geral	Operação de Subestação	Consumo de Energia Elétrica	Iluminação e equipamentos em geral	Esgotamento de recursos naturais	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	1	1	0	3	NS
			Consumo de Água Potável	Para consumo humano	Esgotamento dos recursos naturais	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	1	1	1	4	NS
			Geração de Ruído	Proveniente de equipamentos e máquinas utilizados	Poliuição Sonora	Presente	Direta	Normal	NÃO	1	2	1	0	4	NS

APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO PROPOSTO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ANÁLISE COMPLEMENTAR)

Avaliação de Aspectos Ambientais								
Setor	Utilidades - SE	Fase:	Operação	Data:	20/5/2010			
Sistema Operacional	Subestação Abaixadora A	Elaborador:	Engenheiro Senior	Resp. Revisão:	Gerente Operacional			
Análise complementar								
Unidade funcional	Falha funcional/Causa potencial	Modo de falha	Efeito da falha (= impacto ambiental)	Frequência/Probabilidade da Ocorrência da Causa	Gravidade/severidade de do Impacto	Grau de Detecção	Criticidade	Classificação do Risco
Floculação/Coagulação	Vedação ineficiente bomba dosadora	Elementos de vedação da caracaça danificado	Alteração da qualidade do solo e da água	1	3	2	C2	Comprometedor
	Conexão ineficiente (bomba - linha de aplicação de produto)	Rosca do engate danificada		2	3	2	C2	Comprometedor
Desinfecção/Cloração	Vazamento conexão cilindro - manifold	Elemento de vedação danificado	Contaminação aguda do ar por emissões de Cl2 para a atmosfera	2	8	2	C1	Inaceitavel