

## **Análise da integração entre as ferramentas FMEA e FTA no processo de britagem de urânio**

Ana Caroline Alcoforado (UFBA) [carolalcoforadoeng@gmail.com](mailto:carolalcoforadoeng@gmail.com)

Luiz Rogério de Andrade Lima (UFBA) [lelo@ufba.com.br](mailto:lelo@ufba.com.br)

Salvador Ávila Filho (UFBA) [avilasalva@gmail.com](mailto:avilasalva@gmail.com)

### **Resumo:**

A presente proposta de estudo refere-se à análise das falhas técnicas e sua influência nas ações dos profissionais de manutenção, com vistas ao aprimoramento das políticas de manutenção, para que seja possível proporcionar uma maior confiança e segurança nos sistemas tecnológicos, com o propósito na diminuição de acidentes futuros. Desta forma, tem-se na área de análise de falhas, as técnicas FMEA e FTA que utilizam da melhor forma a integração entre homem, máquina e empresa. A investigação será realizada no beneficiamento de urânio, situada na Bahia, mais especificamente na atividade de britagem do processo. Espera-se que este estudo contribua na prevenção dos riscos ao homem e também ao meio ambiente, norteando soluções de melhoria e auxiliando no uso mais eficiente da infraestrutura existente neste segmento industrial.

**Palavras chave:** FMEA, FTA, Urânio

## **Analysis of the integration between FMEA and FTA tools in the process of uranium crushing**

### **Abstract**

The present study proposal refers to the analysis of technical failures and their influence on the actions of maintenance professionals, with a view to improving maintenance policies, so that it is possible to provide greater confidence and security in the technological systems, with the purpose in future accidents. In this way, FMEA and FTA techniques are used in the area of fault analysis, which use the best integration between man, machine and company. The investigation will be carried out in the processing of uranium, located in the Bahia, more specifically in the activity of crushing the process. It is hoped that this study will contribute to the prevention of risks to man and also to the environment, guiding improvement solutions and assisting in the more efficient use of existing infrastructure in this industrial segment.

**Key-words:** FMEA, FTA, Uranium

## 1. Introdução

O ambiente industrial está cada vez mais competitivo, impondo ainda mais que as empresas procurem alternativas de melhoria dos indicadores de produtividade, disponibilidade e confiabilidade dos seus produtos e processos.

Através da visualização de processos e do desempenho correto das funções, é possível redesenhar as atividades operativas buscando minimizar custos, e gerar satisfação de clientes internos e externos.

O desempenho correto das funções operacionais do sistema está relacionado a não ocorrências das falhas para o qual uma planta é projetada. Um dos fatores para o acontecimento das falhas se enquadra na grande exposição a segurança, meio ambiente e saúde.

Para obtenção de um bom resultado da parada e uma boa confiabilidade do sistema, faz-se necessário elevar a integração das equipes bem como elevar o índice de previsibilidade dos serviços associado a um planejamento organizado realizando ações no tempo requerido, como otimização do escopo de pré-parada, parada e pós-parada; eficiência da execução, elevada produtividade e garantia do controle de qualidade dos serviços durante a parada.

O uso de ferramentas para a detecção dessas falhas tem sido cada vez mais eficiente na melhoria da confiabilidade do produto e do processo. Uma das ferramentas mais utilizadas é o FMEA (Análise de modo e efeito da falha), sendo considerada proativa, pois analisa problemas potenciais antes mesmo que eles ocorram sem a necessidade de se criar protótipos ou espera o problema acontecer durante sua operação.

A correta manutenção dos equipamentos de um sistema produtiva leva a não ocorrência de acidentes e incidentes, que possam prejudicar o meio ambiente e as pessoas ao redor que ali convivem.

Diversos acidentes e incidentes ocorreram em usinas nucleares, tais como: Chernobyl e Three Mile Island. O debate acerca da energia nuclear não deve se limitar aos aspectos técnicos, pois o processo como um todo não será gerido apenas por técnicos, mas também por pessoas que estão sujeitas a emocionais que não podem ser previstos pela análise puramente técnica, mas que no final, serão decisivos.

## 2. Referencial literatura

### 2.1 Conceito da manutenção

A manutenção é uma atividade muito importante para garantir e prolongar a vida útil dos equipamentos, e garantir a continuidade do sistema produtivo. Esse processo requer gastos que devem ser muito bem dimensionados, pois a falta ou o excesso de manutenções em um equipamento pode gerar uma baixa confiabilidade no processo produtivo, dessa forma a manutenção se torna uma etapa imprescindível e deve ser executada no momento exato.

As ações de manutenção estão relacionadas com as necessidades da empresa, gerando melhores benefícios como: aumento da segurança, melhoria da qualidade, aumento da confiabilidade e redução de custos.

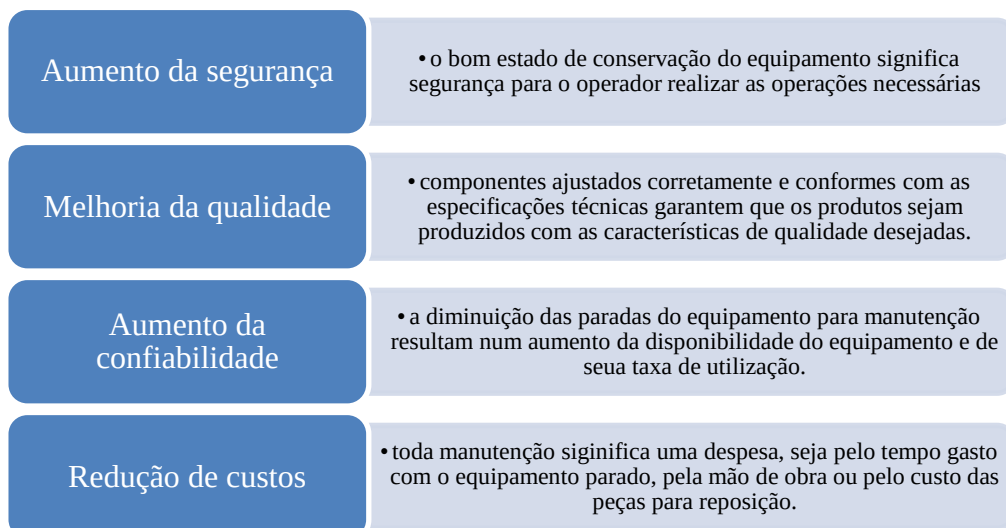


Figura 1 – Benefícios da manutenção  
Fonte – Adaptado Costa Junior (2008)

A confiabilidade está associada com a operação do equipamento com sucesso, ou seja, ou seja, “a confiabilidade é uma grandeza mensurável a partir da análise estatística da ocorrência do evento falha, pois a partir desta análise pode-se obter a probabilidade citada na definição de confiabilidade” (FELIX, 2006).

Para Kardec (2002), a eliminação de paradas em equipamentos que geram gargalos no sistema produtivo, torna cada vez mais competitiva a empresa, não se admitindo desperdícios gerados pela perda de desempenho de equipamentos cujos investimentos foram altos. Vale ressaltar que é de vital importância o aprimoramento da gestão da manutenção de todo o sistema produtivo, tornando cada vez mais alta a confiabilidade do sistema.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), definem que a confiabilidade está relacionada com a probabilidade de um determinado sistema em um determinado tempo. Essa definição utiliza-se da modelagem dos tempos até a falha dos equipamentos no sistema, produto ou serviço, evitando situações indesejáveis, cuja falha normalmente causa prejuízos elevados.

Ainda segundo Lafraia (2001), os equipamentos falham numa visão ampla devido a três fatores básicos: falha de projeto, falha de fabricação e falha na utilização. Sendo que a falha de projeto ocorre quando o projetista não identifica claramente as necessidades do cliente. Na falha de fabricação/montagem, ocorre na inadequação dos produtos a serem processados e na falha na utilização, é devido a uma manutenção inadequada

## 2.2 FMEA (Análise do Modo e Efeito de Falha)

O FMEA é uma ferramenta que pode ser aplicada tanto no desenvolvimento do projeto como do processo, sendo estas realizadas da mesma maneira, somente sendo distintas quanto ao seu objetivo. Pollock (2005) afirma que o FMEA deve ser aplicado para executar a avaliação de risco entendendo quais serão os impactos no cliente se determinada função do processo vier a falhar.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a técnica FMEA revela pontos fracos do sistema, podendo este ter características físicas, humanas e sistêmicas, e, assim, fornecem subsídios para as atividades de melhoria contínua que busca fazer um diagnóstico de falha que podem surgir em produtos ou processo, o qual este relacionado a equipamentos e processos de sistemas de controles, o uso integrado pode complementar ou facilitar a análise.

A falha mais crítica será a primeira do ranking e será considerada prioritária para a aplicação de ações de melhoria (SCHMITT, 2013).

Conforme Puente et al. (2002), o método FMEA é útil para identificar as falhas atuais e potenciais e seus efeitos em sistemas e processos para definir ações que visem reduzir ou eliminar o risco associado a cada falha.

Segundo Lafraria (2011), a aplicação do FMEA possui alguns benefícios como: redução do tempo de ciclo de um produto; redução do custo global de projetos; melhorar o programa de testes de produtos; reduzir falhas potenciais em serviço; reduzir os riscos do produto para o consumidor; e desenvolver uma metodologia para a prevenção de defeitos ao invés de detecção e correção.

O FMEA é dividido em cinco fases, tais como o planejamento sendo esta realizada em traçar todos os planos para aplicação da metodologia; a fase de análise de falhas em potencial é realizada pelo grupo de trabalho, que discute e preenche o formulário FMEA. Nessa fase se definem os índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para cada causa de falha, para que se possam calcular os coeficientes de prioridade de risco (R).

Para o cálculo do índice de risco (NPR) atribuição dos índices é realizada pela equipe técnica da empresa com base na Tabela 1, sendo o índice de risco (NPR) calculado com a equação 1:

$$NPR = O \times S \times D$$

em que: IR = índice de risco;

O = possibilidade de ocorrência de falha;

S = severidade da falha; e

D = possibilidade de detecção da falha.

Tabela 1 – Critérios utilizados para identificação dos índices de ocorrência, severidade e detecção utilizados no FMEA.

| Índices | Critérios do FMEA                       |                                                                         |                                                         |
|---------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|         | Ocorrência (O)                          | Severidade (S)                                                          | Detecção (D)                                            |
| 1       | Probabilidade muito remota de acontecer | É razoável esperar que o cliente não perceberá a falha                  | Probabilidade muito alta que a falha seja detectada     |
| 2       | Número de ocorrências baixo             | O cliente perceberá a falha, mas não ficará insatisfeito por causa dela | Probabilidade alta de que a falha seja detectada        |
| 3       | Número de ocorrências moderado          | O cliente perceberá a falha e ficará insatisfeito                       | Probabilidade média de que a falha seja detectada       |
| 4       | Número de ocorrências alto              | O cliente ficará insatisfeito, mas não tem sua segurança afetada        | Probabilidade baixa de que a falha seja detectada       |
| 5       | Falhas em proporções alarmantes         | O cliente ficará muito insatisfeito e afeta a sua segurança             | Probabilidade muito baixa de que a falha seja detectada |

Fonte: Stamatis, 1995

Em seguida há a fase de aplicação das ações sugeridas e de verificação da eficácia, de acordo com a lista de todas as ações que podem ser realizado para a diminuição dos riscos e aumentar a confiabilidade do processo ou produto.

As ferramentas gerencias, juntamente com a disponibilidade, acesso aos registros e as informações e, também com o envolvimento de toda a organização, passam a ser, passam a ser parte integrante do processo de administração estratégica e do processo produtivo (PONGELUPPE, 2002).

Terminado o processo de análise das consequências das falhas, seu resultado deve ser documentado em um formulário como apresentado na figura 2, auxiliando na sequência de implementação, formando um histórico do sistema e para futuras auditorias

| EMPRESA:                |                                                      | FMEA - Análise do Modo e Efeito de Falha |                 |           |                               |          |   |                                      |                                                                                                                                                        |                                                                            |   |   | Data: |  |  |
|-------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------|-----------|-------------------------------|----------|---|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---|---|-------|--|--|
| Local:                  |                                                      | Setor: Britagem                          |                 | Sistema:  |                               |          |   |                                      |                                                                                                                                                        | Equipamento: Britador quartenário                                          |   |   |       |  |  |
| Componente/<br>Processo | Função do<br>componente                              | Possíveis Falhas                         |                 |           |                               |          |   | Ações Preventivas                    |                                                                                                                                                        | Índices Melhorados                                                         |   |   | NPR   |  |  |
|                         |                                                      | Modo(s)                                  | S               | Efeito(s) | O                             | Causa(s) | D | Recomendada                          | Adotada                                                                                                                                                | S                                                                          | O | D |       |  |  |
| Britador                | Britar o minério que alimenta a planta de lixiviação | A                                        | □ britador pára | 7         | Não funcionamento da operação |          | 1 | A bomba de óleo de veio não funciona | A bomba de óleo de veio-pinhão está interbloqueada com o motor de acionamento do britador                                                              | Verificação dos circuitos elétricos e o arrancador do motor de acionamento |   |   |       |  |  |
|                         |                                                      |                                          |                 |           |                               |          | 2 | Óleo demasiado quente                | Verificar a operação do sistema de arefimento, o termostato do controle TG2, o motor do ventilador e o seu arrancador e verificar a matriz do radiador | Limpeza por dentro e fora do equipamento                                   |   |   |       |  |  |
|                         |                                                      |                                          |                 |           |                               |          | 3 | Falha da chumaceira                  | Verificar a operação do termostato de proteção (TG1)                                                                                                   | Desmontar o britador para inspeção e substituição                          |   |   |       |  |  |

FIGURA 2 – Modelo de planilha de FMEA

Fonte: Elaborada pela autora

Smith e Hinchcliffe (2004) apresentam quatro categorias nas quais pode se especificar qualquer ação da manutenção planejada, com cada qual direcionada a uma finalidade como o tempo, a condição do sistema, a busca da falha e a atividades pós-falha.

### 2.3 FTA

A análise da Árvore de Falhas, do inglês “Fault Tree Analysis (FTA)”, é um método de análise que permite uma avaliação sistemática e padronizada de possíveis combinações de falhas dos componentes que possam causar um evento indesejado.

O diagrama da árvore de falhas mostra o relacionamento entre os modos de falhas identificadas no FMEA, tendo como sua estrutura de fluxograma, permite-se verificar a interação dos processos.

O seu processo de construção da árvore tem início com a percepção ou previsão de uma falha grave do sistema, com isso, a análise da árvore de falhas é uma técnica “top-down”, pois parte de eventos gerais que são desdobrados em eventos mais específicos.

As Árvores de Falhas são modelos de representação lógica, e representam a caracterização qualitativa de uma falha do sistema, ou seja, a combinação de eventos iniciais (falha de componentes) que causam a ocorrência de evento topo, e através de métodos como álgebra booleana, avalia-se a árvore de falha quantitativamente, calculando a probabilidade de ocorrência do evento topo (Modarres, 1993).

A estrutura da FTA, além de identificar as interações do sistema, também é acrescida de operadores lógicos e símbolos. Os operadores podem ser do tipo “OU” ou do tipo “E”, diversos

símbolos são utilizados no desenho da árvore de falhas, desde retângulos, diamantes, círculos e casas, mostrando na Figura 3, tendo cada operador o seu significado.

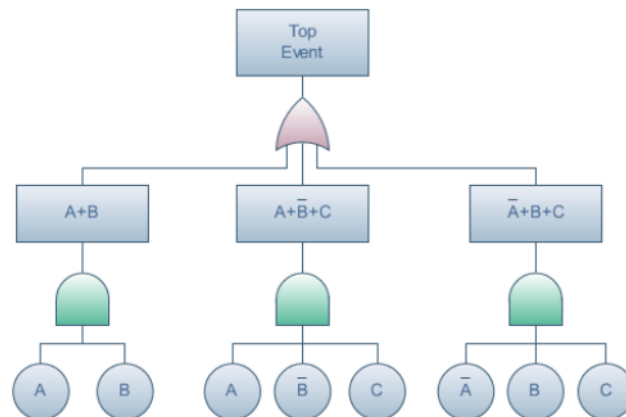


FIGURA 3-FTA - ÁRVORE DE FALHA  
FONTE: BORBA PRÁ (2010)

As etapas de implementação do FTA consistem em elaborar o evento topo, entender o sistema, construir a árvore de falhas, avaliar a árvore de falha e implementar ações corretivas. A principal vantagem do método é a interligação entre os componentes que falharam, permitindo uma visualização da probabilidade de falha entre os componentes e qual tem um maior impacto sobre o sistema analisado (ARAÚJO et al., 2000).

O uso integrado do FMEA e FTA é bilateral e complementar ou seja, o uso do FTA traz informações para o FMEA que facilitam a elaboração do mesmo. O FMEA possibilita a revisão da revisão da árvore de falhas fazendo com que, neste caso, o FTA seja utilizado como uma ferramenta de melhoria do FMEA ao dar à empresa um maior nível de certeza quanto à criticidade dos modos de falha (Scapin,1999).

### 3 ESTUDO DE CASO

O presente estudo apresenta a análise da integração das ferramentas FMEA e FTA, para redução das falhas e tarefas de manutenção no Processo de Beneficiamento de Urânio. Primeiro, é realizada uma breve descrição do modelo de implantação proposto, seguida da descrição do sistema e de todo o processo de aplicação.

A empresa atua na cadeia produtiva do urânio, desde a mineração, até a fabricação do combustível que gera energia elétrica nas usinas nucleares. A sua missão visa garantir o fornecimento do combustível nuclear para geração de energia elétrica, com segurança, qualidade, transparência e responsabilidade social e ambiental, através de uma gestão integrada, diversificação da linha de produtos e autonomia tecnológica na fabricação do combustível.

#### 3.1 Breve descrição do processo

O minério de urânio é lavrado pela técnica de cava a céu aberto, esse minério é transportado da mina através de caminhões basculante, é descarregado em um silo (ou moega) e um alimentador vibratório. O minério passará por quatro fases de britagem, onde sua granulometria será reduzida até 13mm, para a formação de pilhas, nele será extraído o licor de urânio, esse processo é chamado de lixiviação.

No processo de britagem a operação primária funciona independente da rebitagem. Em outras palavras, a operação da rebitagem é intertravada e a paralisação de qualquer equipamento ou máquina provoca interrupção da produção. A rebitagem opera continuamente, enquanto que a britagem primária opera somente quando há transporte do minério lavrado ou minério depositado no pátio de pré-estocagem de minério de urânio.

Os estágios finais da britagem são de grande importância para a qualidade do produto, devido a exigência de se obter um tamanho apropriado para a realização do procedimento seguinte. Não havendo a qualidade do produto nesta etapa, necessitasse da verificação do equipamento realizando a manutenção para que o mesmo não afete na parada do sistema.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Apreciação Inicial

O modelo de implantação proposto foi aplicado no Subsistema de Britagem do Beneficiamento do Urânio, de uma indústria de mineração. O Britador Quaternário faz parte do Processo de Britagem da indústria, responsável pela qualidade do produto, caso o minério não tenha alcançado o tamanho adequado para a etapa seguinte nos britadores anteriores, o britador quaternário será responsável em alcançar essa função, sendo considerada a linha mais crítica da operação.

Inicialmente foi feita a coleta de dados, o que consistiu basicamente no levantamento das ordens de serviços do setor em estudo, onde foi obtido um total de análise de confiabilidade e probabilidade de 13 equipamentos.

Em seguida foi construída 1 planilha do equipamento considera como crítico pelos especialistas. Tal fato que entra em desacordo com a análise feita em que o equipamento se encontra na quinta posição de manutenção realizadas no sistema, como demonstrado no Gráfico de Pareto abaixo.

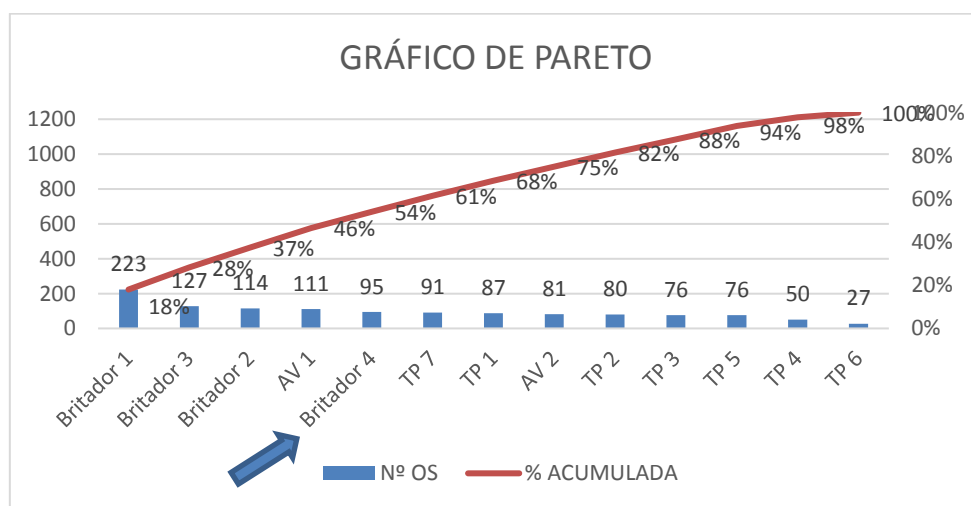


Figura: Gráfico de Pareto da Britagem

Fonte: Realizada pela autora

Na segunda etapa foi analisada os ordens de serviço do equipamento escolhido, onde constatou-se que mais da metade da manutenção realizada nele são de ações corretivas. A análise das funções e falhas funcionais foi realizada em virtude do contexto operacional, onde o subsistema

analisado apresenta somente uma função principal: britar o minério que alimenta a planta de lixiviação.

Foram identificados seis modos de falhas para o sistema em análise: (i) o britador pára; (ii) o britador não mantém uma regulação constante; (iii) o britador não conseguiu arrancar; (iv) ruído anormal do britador; (v) a capacidade do britador cai; e (vi) desgaste aumentado dos componentes de deslizamento.

## 4.2 Aplicação do FMEA

Este estudo caracteriza-se como descritivo, cujo seu objetivo é demonstrar a utilização da metodologia FMEA como uma ferramenta de identificação de falhas. A primeira falha potencial detectada é o não funcionamento total do equipamento, cujo o efeito é o não funcionamento do processo, onde aplicou-se no nível de severidade 9, nível de 5 de ocorrência e 3 de detecção.

Na segunda falha potencial detectada é a ocorrência de picos de pressão, onde seu índice de severidade se aplica em 3 e de ocorrência também, tendo a detecção com um índice de 2. A terceira falha potencial cujo efeito é a parada no sistema de produção, possui um nível de severidade 8, um nível de ocorrência 4 e de detecção também 4.

Na quarta e quinta falha os seus índices são elevados, tendo um grau de severidade 7, de ocorrência 6 e detecção 5. Cujo efeito tem algumas possibilidades como ruído no "Blacklash" e diminuição na produção. Já a sexta falha seu índice de severidade é mais baixa de número 4, com uma detecção 3 e ocorrência também 3.

Aplicando a metodologia do cálculo NPR da multiplicação entre níveis de severidade, ocorrência e detecção originam-se o coeficiente de prioridade de risco para cada uma das três causas propostas. O maior coeficiente de prioridade de risco refere-se a quarta e quinta falha potencial, seguido pela pausa do equipamento e em seguida o equipamento não consegue arrancar.

Percebe-se também, que na primeira falha, que apesar de possuir um índice de severidade maior que as demais, o seu NPR não é o maior de todas as falhas. A quarta e quinta possuem um alto nível de risco, pois elas afetam a de forma alarmante a produção de todo o sistema em estudo.

## 4.2 Aplicação do FTA

O FTA foi aplicado em 2 funções do FMEA, onde os modos de falha com NPR críticos passaram a ser o evento de topo. Os 2 modos de falha selecionados foram escolhidos baseando-se nas informações contidas no FMEA, que os apontava como os de ocorrência mais provável. Quanto à probabilidade de ocorrência das causas-raiz, a empresa informou não possuir dados precisos.

Foram somente informadas as causas que ocorrem em função de aspectos mais amplos como qualificação, sistema e metodologia de trabalho, incentivo e qualidade de treinamento, que possuem menor probabilidade de ocorrência, pois supõe-se que quem faz o produto conhece o assunto.

Através do FTA, pôde-se verificar que os modos de falha devem ser tratados de forma distinta, podendo inclusive serem priorizados, o que antes não seria possível a partir da utilização do FMEA.

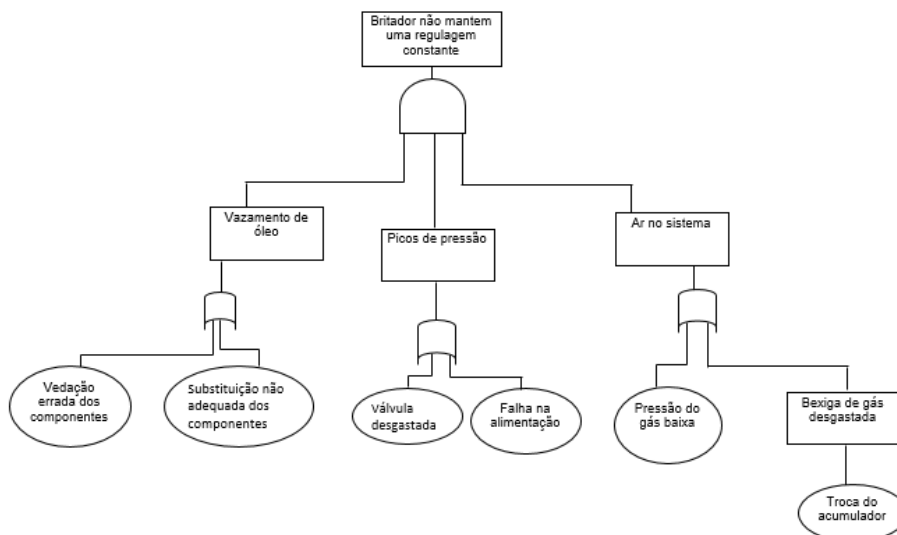


Figura 3: Exemplo de FTA do componente do processo  
Fonte: Realizada pela autora

Após feita a análise do FTA calculou-se a probabilidade de falha e a confiabilidade do equipamento, resultando no gráfico abaixo, onde percebe-se que quanto maior for o tempo, maior será a probabilidade de falhar.

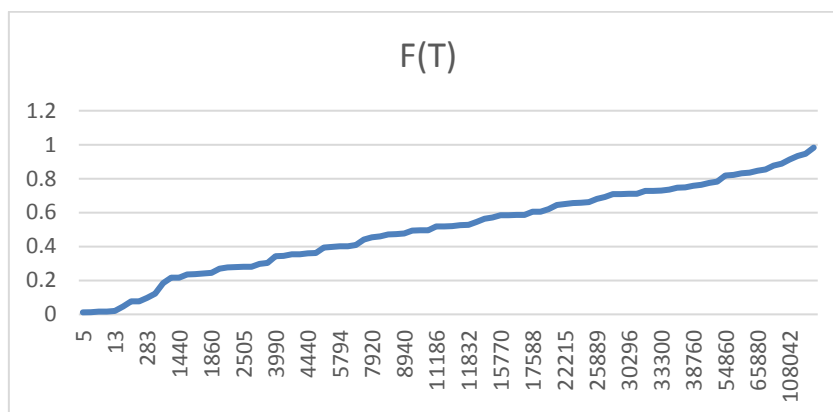


Figura 4: Gráfico de probabilidade  
Fonte: Realizada pela autora

O seu valor de confiabilidade é de aproximadamente 0,54. O que já representa uma certa preocupação em relação a disponibilidade do equipamento para a efetivação do processo.

#### 4.3 Aplicação das ações sugeridas

Com base nas prioridades de risco são recomendadas algumas ações a serem tomadas nas falhas que obtiveram um índice NPR elevado. Na falha onde acontece um ruído anormal é pertinente desmontar o britador verificando as engrenagens, inspecionar o coador de óleo de retorno e verificar se existem folgas nos parafusos. Na quinta falha onde a capacidade do britador possui

uma queda de eficiência, pode-se aplicar a verificação das correias que o alimentam e as tensões das correias.

Nesta pesquisa foi possível concluir que se o modo de falha for definido sem se considerar a função do processo e principalmente se não houver uma correta distinção entre os conceitos de falha e defeito, o FMEA de Processo passa a ser realizado sem agregar nenhum valor.

#### **4. Conclusão**

A utilização da metodologia FMEA integrada com o FTA, para a definição dos processos críticos, proporcionou uma visualização dos defeitos apresentados pelo processo de forma clara e objetiva, o que ressalta os pontos fortes e fracos do equipamento em análise. As intervenções puderam ser decididas graças a esse método que apresentou ser uma ótima ferramenta de auxílio à tomada de decisões.

Pode-se concluir, por meio da aplicação prática, que a metodologia proposta, pelo uso integrado com o FMEA, sendo este viável. Fornece uma sequência de etapas que auxiliam na compreensão do processo estudado, na identificação dos pontos críticos de ação, na determinação das falhas e seus efeitos e na elaboração do panorama geral das falhas e efeitos, visando à priorização das medidas de correção, se for o caso, e da consequente eliminação das falhas dos processos.

#### **Referências**

- FELIX, É. P.** Análise de confiabilidade de sistemas eletrônicos complexos baseada em ensaios acelerados de vida. 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D.** Confiabilidade e Manutenção Industrial. 2ªed., Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2009.
- KARDEC, A. & RIBEIRO, H.** *Gestão estratégica e manutenção autônoma*. Rio de Janeiro, Qualitymark: ABRAMAN, 2002
- KARDEC, A.; NASFIC, J.** *Manutenção: função estratégica*. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- LAFRAIA, J. R. B.,** *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Ed. Qualitymark. 2001. 4ª Impressão, 2011.
- LEVERETTE, J. C.** *An Introduction to the US Naval Air System Command RCM Process and Integrated Reliability Centered Maintenance Software*. In: RCM 2006 The Reliability Centred Maintenance Managers' Forum. 2006. Anais...: p. 2229.
- MADU, C. N.** *Competing through maintenance strategies*, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 17 Iss: 9, pp.937 949,2000.
- PONGELUPPE, P. C.** Modelo de indicadores de desempenho para micro e pequena agroindústria: multi-caso de laticínios. 2002. 169p. Dissertação (Mestrado em...) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- POLLOCK, S.** *Create a Simple Framework To Validate FMEA Performance*. Six Sigma Forum Magazine, USA, 2005.
- PONGELUPPE, P. C.** *Modelo de indicadores de desempenho para micro e pequena agroindústria: multicaso de laticínios*. 2002. 169p. Dissertação (Mestrado em...) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R.** *RCM: gateway to world class maintenance*. 2ª. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, v. 1, 2004.
- STAMATIS, D. H.** *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution*. 2. ed. ASQC, Milwaukee: Quality Press, 2003. 494 p.
- SCHIMITT, J.C.** Método de Análise de Falha utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA. SANTA BÁRBARA D'OESTE, 2013.
- STAMATIS, D. H.** *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution*. 2. ed. ASQC, Milwaukee: Quality Press, 2003. 494 p.