

ANÁLISE DE FALHAS EM ATIVOS DE AUTOMAÇÃO COM AS TÉCNICAS FTA E FMEA¹

Patrick Soares Silva²

Antônio Carlos Aguiar Gagno Júnior²

Resumo

O presente estudo, desenvolvido na siderúrgica ArcelorMittal Tubarão, tem como objetivo propor uma metodologia de análise de falhas em ativos de automação de processos, responsáveis pela monitoração e otimização da produção, por meio da integração das técnicas FTA (Análise da Árvore de Falhas) e FMEA (Análise dos Modos de Falha e Efeitos). Não restrito ao cenário abordado, as ferramentas utilizadas são também aplicáveis aos contextos de manutenção, TI, projetos e processos. A partir do levantamento em base de dados interna das ocorrências de hardware nos sistemas de automação entre os anos 2008 e 2010 e aplicação das técnicas para definição dos pontos de maior relevância e criticidade, são consolidados planos de ação para mitigação das falhas potenciais e conseqüente aumento da confiabilidade e disponibilidade operacional.

Palavras-chave: FTA; FMEA; Falha; Manutenção.

FAILURE ANALYSIS ON AUTOMATION ASSETS WITH THE FTA AND FMEA TECHNIQUES

Abstract

The current paper developed in the ArcelorMittal Tubarão steel plant aims to propose a methodology for failure analysis in process automation asset, which are responsible for the production monitoring and optimization, through the integration of FTA (Fault Tree Analysis) and FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) techniques. Not restricted to the approached scenario, the used tools are also applied to maintenance, IT, projects and process contexts. From the research in internal database about hardware faults in automation systems between 2008 and 2010 and application of the techniques for defining points of greatest importance and criticality, actions plans are consolidated aiming the potential failure abatement and consequent increase of operational reliability and availability.

Key words: FTA; FMEA; Failure; Maintenance.

¹ *Contribuição técnica ao 15º Seminário de Automação e TI Industrial, 20 a 22 de setembro de 2011, São Paulo, SP.*

² *Especialista em Desenvolvimento de Automação e Instrumentação, ArcelorMittal Tubarão.*

1 INTRODUÇÃO

O conceito de qualidade, ainda que subjetivo, está diretamente relacionado com o atendimento às expectativas dos clientes. Segundo Xenos,⁽¹⁾ além da qualidade intrínseca, o custo e a entrega formam as três dimensões básicas que, quando combinadas, correspondem ao valor percebido do produto ou serviço.

No âmbito industrial, fatores como as falhas podem influenciar nas especificações do produto final, motivo pelo qual as atividades de manutenção, nesse contexto, podem corresponder a até metade dos custos operacionais. É por esse motivo que a estratégia de manutenção deve envolver desde a alta gerência à operação da planta, esta por conhecer em detalhes o processo produtivo. Não restrito a índices financeiros, há ainda o fator risco humano, como no caso de siderúrgicas, quando o elemento manipulado é o ferro-gusa em alta temperatura e um desvio pode gerar resultados danosos e até fatais.

A evolução da manutenção, – esta já considerada anteriormente como um mal necessário, hoje reconhecida como função estratégica da empresa – proporcionou a criação de diversas metodologias para mapeamento e análise de falhas. Helman e Andery⁽²⁾ destacam a aplicação integrada da FMEA e da FTA como uma ferramenta eficaz para previsão e mitigação de problemas em produtos e processos.

Este estudo tem como objetivo identificar, através da aplicação integrada das técnicas propostas, as principais causas e incidências de falhas em ativos de Automação de Processos e TI, bem como definir um ciclo de manutenção sustentável com foco no aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos que monitoram e otimizam o processo produtivo da siderúrgica ArcelorMittal Tubarão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa, delimitada aos Sistemas de Automação da ArcelorMittal Tubarão, tem como base o sistema interno de banco de dados, no qual são registradas todas as ocorrências operacionais, impactos e períodos de indisponibilidade. A partir dos dados levantados no grupo de *hardware*, é aplicado o Princípio de Pareto, com o qual as ocorrências mais relevantes são classificadas, bem como suas principais causas e componentes de falha. Em seguida, por meio das técnicas FTA e FMEA, são mapeadas as principais falhas potenciais nos itens de maior relevância. Cada ponto crítico identificado é então relacionado a um plano de ação correspondente, para tratamento e redução das variabilidades do processo capazes de afetar o índice de confiabilidade e disponibilidade dos sistemas abordados.

Tabela 1. Subgrupos do grupo *hardware*

Atualização de <i>firmware</i>	Disco	Substituição
CPU	Instalação	Terminal / Micro
Disco	Outros	

3 MAPEAMENTO E ANÁLISE DE FALHAS

A proposta de um programa de manutenção centrada na confiabilidade (RCM), proveniente do início dos anos 1970, tem como principal objetivo estabelecer a melhor estratégia de manutenção para cada ativo, com foco em sua disponibilidade operacional. Dentre os componentes de um programa RCM, a manutenção proativa tem se destacado nos últimos anos por permitir a implementação de uma estratégia

customizada de manutenção preventiva e preditiva para cada ativo. Ação esta possível por meio das técnicas FTA e FMEA, que atuam desde a fase de projeto até o fim do ciclo de vida do produto, visando reduzir ao máximo a frequência de manutenções não-planejadas. Os próximos capítulos abordam em detalhes como o uso integrado dessas técnicas pode contribuir para o aumento da vida útil dos ativos por meio do mapeamento e tratamento de falhas, em alguns casos antes mesmo que elas ocorram.

3.1 FTA: Análise da Árvore de Falhas

A *Fault Tree Analysis*, ou FTA, constitui em um método sistemático e padronizado, a partir do qual é possível analisar modos comuns de falhas em sistemas, produtos, processos ou projetos. Segundo Helman e Andery,⁽²⁾ teve origem nos anos 1960 em aplicações de análise de segurança para sistemas de controle de lançamento de mísseis, posteriormente adaptada a outras funções, abrangendo desde projetos de máquinas e equipamentos até análise de processos industriais ou administrativos. Sua representação gráfica é composta por um problema particular, denominado “evento de topo”, seguido por eventos contribuintes, individuais ou combinados, formando uma “árvore lógica” conectada por operadores booleanos “e” e “ou”, utilizada tanto para análises quantitativas quanto qualitativas, quando relacionadas a probabilidades.

Helman e Andery⁽²⁾ também destacam como benefício da FTA a compreensão do problema de maneira dedutiva, avaliando cada modo de falha e estabelecendo planos de ação específicos, através de uma metodologia padronizada de análise.

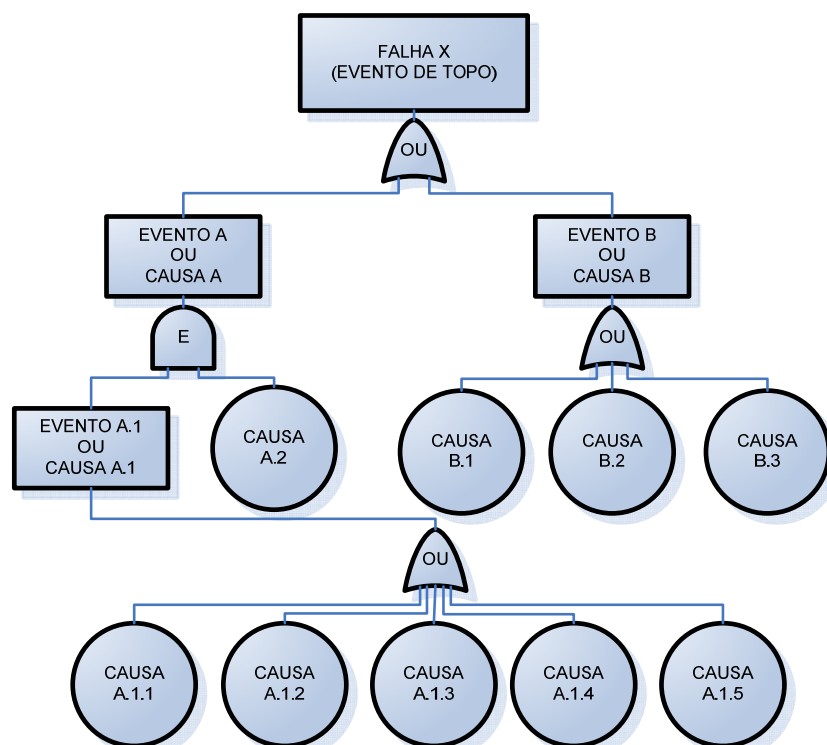


Figura 1. Exemplo de estrutura de FTA.⁽²⁾

3.2 FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos

Segundo Helman e Andery,⁽²⁾ "entende-se por 'modos de falha' os eventos que levam associados a eles uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho".

A *Failure Mode and Effect Analysis*, ou FMEA, é considerada por Helman e Andery⁽²⁾ como um método aplicável a projetos, produtos e processos, sejam estes industriais ou administrativos, com o objetivo de identificar possíveis modos potenciais de falha e determinar para cada, com base no raciocínio dedutivo, seu efeito no desempenho do sistema avaliado. Scipioni et al.⁽³⁾ destaca que a técnica foi desenvolvida em meados da década de 1940, exclusivamente para uso militar. Trinta anos depois e presente até os dias atuais, sua aplicabilidade foi extendida aos demais setores, dentre os quais o aeroespacial e o industrial.

Ao contrário da FTA, na FMEA o raciocínio é orientado de "baixo para cima" e os componentes mais simples são avaliados quanto aos seus modos de falha, respectivas causas e efeitos nos níveis superiores do sistema. Os dados adquiridos, de acordo com Helman e Andery,⁽²⁾ alimentam o "Formulário de FMEA", que busca mapear de quais maneiras um componente pode falhar, com base nas seguintes questões:

- que tipos de falhas são observadas?;
- que partes do sistema são afetadas?;
- quais são os efeitos da falha sobre o sistema?;
- qual é a importância da falha?; e
- como preveni-la?

Após classificação das falhas potenciais quanto ao seu índice de risco (ocorrência, gravidade e detecção) é gerado o RPN (*Risk Priority Number*) de cada falha mapeada, utilizado para determinação da prioridade e estratégia de atuação.

Arabian-Hoseynabadi, Oraee e Tavner⁽⁴⁾ destacam a importância do envolvimento de profissionais com experiência no cenário de estudo, para definição dos fatores considerados na análise e das prioridades de atuação. Para Scipioni et al.,⁽³⁾ a coleta de dados em base histórica contribui para o objetivo de garantir maior representatividade à pesquisa.

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITOS											DIVISÃO						
<input type="checkbox"/> PROJETO DE PRODUTO					<input type="checkbox"/> PROJETO DE PROCESSO						FOLHA						
<input type="checkbox"/> REVISÃO DO PROJETO DE PRODUTO					<input type="checkbox"/> REVISÃO DO PROJETO DE PROCESSO												
ENTE/REF.		APLICAÇÃO			ÁREAS ENVOLVIDAS						DATA DA ELABORAÇÃO						
ATA ULT. VER PROJ.		PRODUTO/PROCESSO			FORNECEDOR						DATA DA PRÓXIMA REVISÃO						
EM	NOME	FUNÇÃO	FALHAS POSSÍVEIS			ATUAL				AÇÃO CORRETIVA		RESULTADO					
			MODO	EFEITO(S)	CAUSA(S)	CONTROLES ATUAIS	ÍNDICES				RECOMENDAÇÕES	TOMADA	ÍNDICES REVISTOS				RESPONSÁVEL
							O	G	D	RPN			O	G	D	RPN	
PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA			GRAVIDADE			PROBABILIDADE DE DETECÇÃO				RISCO							
JITO REMOTA			1	APENAS PERCEPTÍVEL		1	MUITO ALTA				1	BAIXO		1 - 135			
JITO PEQUENA			2	POUCA IMPORTÂNCIA		2, 3	ALTA				2, 3	MODERADO		136 - 500			
QUENA			3	MODERADAMENTE GRAVE		4, 5, 6	MODERADA				4, 5, 6	ALTO		501 - 1000			
MODERADA			4, 5, 6	GRAVE		7, 8	PEQUENA				7, 8						
ATA			7, 8	EXTREMAMENTE GRAVE		9, 10	MUITO PEQUENA				9						
JITO ALTA			9, 10				REMOTA				10						

Figura 2. Exemplo de Formulário da FMEA.

3.3 FTA e FMEA: A Integração dos Métodos

Ainda que atuem por sentidos opostos, ambos os métodos abordados nesse estudo, de acordo com Helman e Andery,⁽²⁾ permitem uma avaliação sistemática e padronizada de falhas potenciais, estabelecendo suas conseqüências e auxiliando na adoção de ações corretivas (preventivas). Enquanto na FTA parte-se do efeito para se chegar à causa, na FMEA o enfoque é dado a cada causa provável, desencadeando um raciocínio direcionado ao efeito (falha-problema). Para Lafraia,⁽⁵⁾ a ramificação das possíveis falhas de um sistema, por meio da FTA, contribui para a elaboração da FMEA. Helman e Andery⁽²⁾ afirmam que cada evento básico da Árvore de Falhas pode ser representado como um componente do Formulário de FMEA e a visualização da estrutura hierárquica lógica facilita seu preenchimento e classificação por índices de risco.

Para Helman e Andery,⁽²⁾ não há uma única forma de integração entre a FTA e a FMEA, de modo que esta última pode ser utilizada como uma avaliação preliminar dos modos de falhas e seus efeitos, cujos resultados são empregados na estrutura da FTA, objetivando identificar a causa raiz de cada falha potencial.

4 ANÁLISE DE FALHAS EM ATIVOS DE AUTOMAÇÃO E TI

Na ArcelorMittal Tubarão, empresa pertencente ao maior grupo siderúrgico do mundo, distribuído em mais de 60 países e com aproximadamente 300 mil funcionários, cujo foco é a produção de semi-acabados de aço (placas e bobinas a quente) para fornecimento aos mercados nacional e internacional, o controle de qualidade do produto é realizado pelos Sistemas de Automação, ou Sistemas de Nível 2, responsáveis tanto pela monitoração da produção e registro dos eventos de qualidade, como também pela otimização do processo produtivo com base nos requisitos dos clientes.

Toda ocorrência nos Sistemas de Otimização é controlada pelo órgão de Engenharia de Automação, do Departamento de Manutenção Central, e registrada no sistema interno de base de dados. Por meio das ferramentas estatísticas que este dispõe, é gerado um dos principais índices do SGQ (Sistema Geral de Qualidade) interno, a Disponibilidade dos Sistemas de Nível 2.

Para atender ao objetivo proposto no presente estudo, foram levantadas todas as ocorrências relativas a falhas de hardware, ocorridas entre 2008 e 2010. No intuito de garantir maior representatividade à pesquisa, considerando que o banco de dados é alimentado manualmente, foi sugerido uma reclassificação de toda base de dados, retirando sub-grupos que não correspondiam a falhas de hardware, criados apenas para registro de atividades pontuais, como “atualização de *firmware*”, “instalação” e “substituição” de algum equipamento.

Também foi sugerida a criação de subgrupos com demais componentes passíveis de falha. Como nos registros dos desvios, tais componentes não haviam sido contemplados, todas as ocorrências levantadas foram reclassificadas, associando-as ao novo subgrupo correspondente. Também foram desconsideradas todas as ocorrências provenientes de desvios com “identificação” de equipamentos e problemas em “terminal/micro de operação”, para os quais sugere-se a criação de um estudo direcionado. O enfoque da pesquisa é, portanto, aplicado aos equipamentos responsáveis por sustentar a produção, denominados ProComs (*Process Computers*).

Tabela 2. Subgrupos atuais e sugeridos

Grupo	Subgrupos Atuais	Subgrupos Sugeridos		
Hardware	Atualização de <i>firmware</i>	Vídeo	CD-ROM	Disquete
	CPU	Cooler	Memória	Placa de Rede
	Disco	Desconhecido	Impressora	CPU
	Instalação	Identificação	Aplicação/SO	Outros
	Outros	Fonte de Alimentação	Bateria de Cache	
	Substituição	Disco	Conexão	
	Terminal/Micro	Fita DAT	OCP	

Após reclassificação das ocorrências com base nos novos subgrupos, os dados levantados foram aplicados a um Diagrama de Pareto, a partir do qual foi possível determinar as prioridades de atuação, identificando as falhas mais frequentes e aplicando os resultados na construção da Análise da Árvore de Falhas.

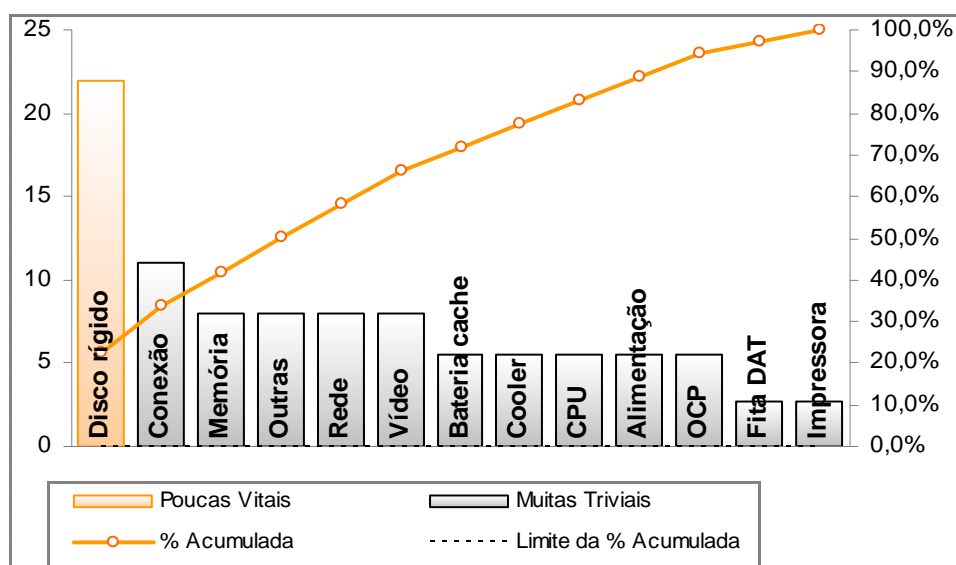


Figura 3. Diagrama de Pareto.

Os resultados do Pareto indicam o item “disco rígido” como o mais crítico, cuja frequência de incidência de falhas no período mensurado superou o segundo item em mais de 50%, portanto o componente a ser tratado na estrutura da FTA.

A representação gráfica da Árvore de Falhas possui como ocorrência principal, ou evento de topo, a indisponibilidade de acesso ao disco. O encadeamento dos eventos (representados por blocos retangulares) e das causas sugeridas (representadas por círculos) que possam contribuir para a falha é indicado nas ramificações, estas conectadas a partir de portas lógicas “e” e “ou”. Como no ambiente de automação abordado há sistemas cujos volumes de produção estão dispostos tanto internamente quanto externamente ao equipamento, como no caso dos *Storages* (dispositivos de armazenamento centralizado), ambos os casos foram considerados na construção da FTA.

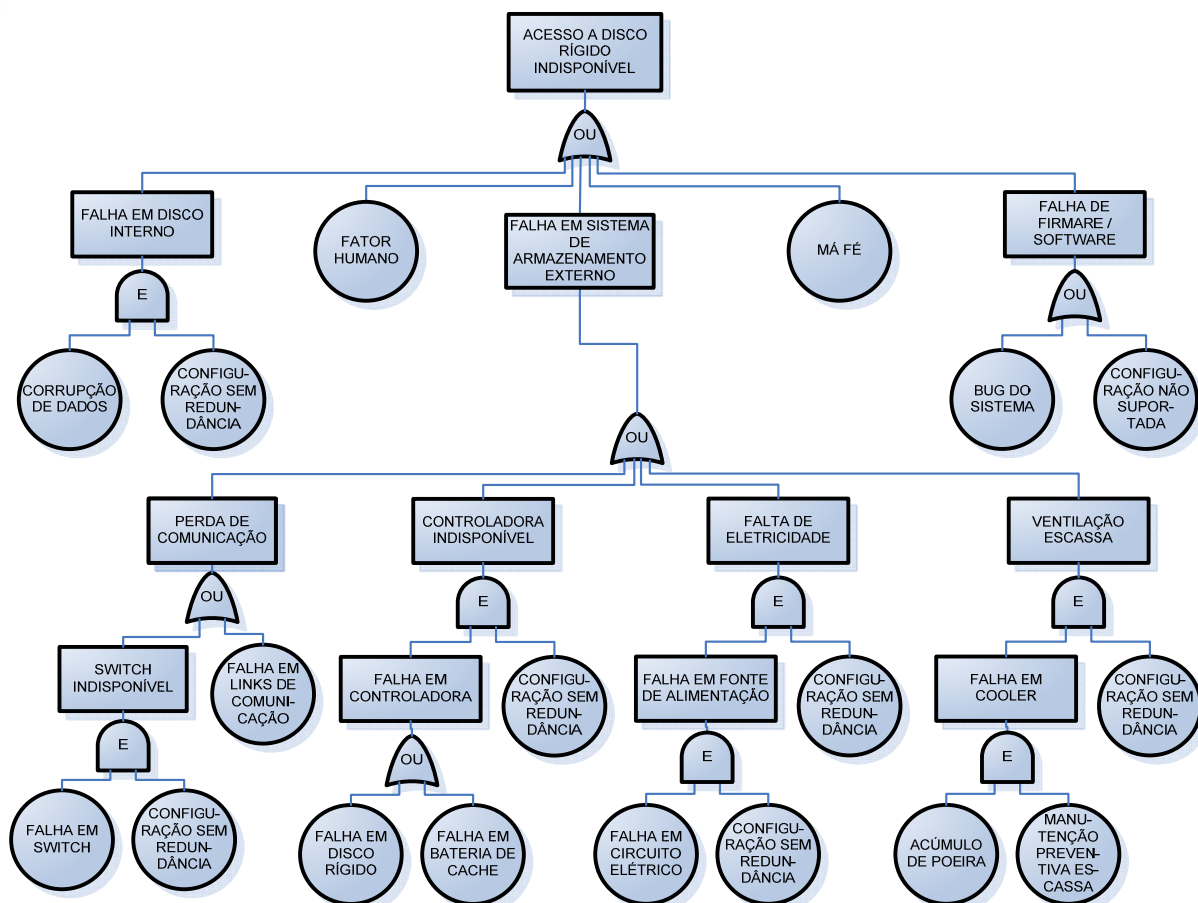


Figura 4. Análise da Árvore de Falhas para disco rígido.

Com a representação gráfica da FTA pronta, é possível preencher o formulário da FMEA e avaliar o índice de risco de cada falha potencial, gerando seu respectivo RPN.

		F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITOS						DIVISÃO			
		[X] PROJETO DE PRODUTO			[] PROJETO DE PROCESSO			FOLHA			
		[] REVISÃO DO PROJETO DE PRODUTO			[] REVISÃO DO PROJETO DE PROCESSO						
CLIENTE/REF.		APLICAÇÃO			ÁREAS ENVOLVIDAS			DATA DA ELABORAÇÃO			
DATA ULT. VER PROJ.		PRODUTO/PROCESSO			FORNECEDOR			DATA DA PRÓXIMA REVISÃO			
ITEM	NOME	FUNÇÃO	FALHAS POSSÍVEIS			ATUAL				AÇÃO CORRETIVA	
			MODOS	EFETO(S)	CAUSA(S)	CONTROLES ATUAIS	ÍNDICES			RECOMENDAÇÕES	
							O	G	D	RPN	
1	Disco Rígido	Armazenar dados de Sistema Operacional, Aplicativos e Banco de Dados dos Sistemas de Automação	Switch de Storage indisponível.	Perda de comunicação do sistema com volumes em Storage.	Falha em switch, sem redundância.	Storages com switches redundantes.	2	10	4	80	Definir periodicidade para checar configurações dos switches de cada Storage.
			Falha em links de comunicação de Storage.	Perda de comunicação do sistema com volumes em Storage.	Cabo danificado, sem redundância.	Links redundantes de comunicação em todos os Storages.	3	7	8	168	Definir periodicidade para checar estado da infra-estrutura de cada Storage.
					Conector danificado, sem redundância.	Links redundantes de comunicação em todos os Storages.	3	7	8	168	Definir periodicidade para checar estado da infra-estrutura de cada Storage.
			Falha em controladora de Storage.	Acesso a discos em Storage indisponível.	Falha em disco rígido conectado em Storage.	Configuração em RAID para os volumes de produção em Storage.	6	4	9	216	Checar configurações atuais e implantar ferramentas preditivas de monitoramento em cada Storage.
					Falha em bateria de cache.	Inexistente.	8	5	7	280	Implantar ferramentas preditivas de monitoramento em cada Storage.
					Configuração não redundante.	Storages com controladoras redundantes.	2	10	3	60	Definir periodicidade para checar estado da infra-estrutura de cada Storage.
			Falha em fonte de alimentação de Storage.	Falta de eletricidade para alimentação do Storage.	Falha em circuito elétrico, sem redundância.	Alimentação de Storage através de circuitos distintos.	2	9	8	144	Checar configurações atuais e criar projeto para individualização dos circuitos de cada Storage.
					Configuração não redundante.	Storages com fontes de alimentação redundantes.	3	8	9	216	Definir periodicidade para checar estado da infra-estrutura de cada Storage.
			Falha em cooler de Storage.	Ventilação escassa no equipamento.	Acúmulo de poeira no ambiente e equipamento.	Inexistente.	4	5	9	180	Estudar projeto de vedação e pressurização das salas de computadores.
					Falta de manutenção preventiva.	Inexistente.	8	5	2	80	Definir periodicidade para manutenção preventivas dos componentes no Storage.
			Falha de firmware ou software.	Travamento do Storage.	Bug do sistema.	Inexistente.	4	10	10	400	Definir periodicidade para checar junto ao fabricante matrizes de suportabilidade do ambiente instalado.
					Configuração não suportada pelo fabricante.	Inexistente.	6	5	9	270	Definir periodicidade para checar junto ao fabricante matrizes de suportabilidade do ambiente instalado.
			Falha em disco interno.	Acesso a discos internos indisponível.	Corrupção de dados.	Inexistente.	3	8	9	216	Migrar sistemas em disco interno para Storages e implantar rotinas automáticas de backup dos volumes de produção.
					Configuração sem redundância.	Uso de Storages para centralização dos volumes de produção.	6	8	9	432	Migrar sistemas em disco interno para Storages e implantar rotinas automáticas de backup dos volumes de produção.
Desvio em procedimento de configuração ou manutenção.	Indisponibilidade do equipamento e/ou sistema.	Má fé.	Inexistente.	1	10	10	100	Implementar ferramentas para controlar o acesso ao ambiente somente a pessoas autorizadas.			
		Fator humano.	Inexistente.	7	10	6	420	Criar procedimentos para implementação e manutenção no ambiente.			
PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA (O)			GRAVIDADE (G)			PROBABILIDADE DE DETECÇÃO (D)			RISCO (RPN)		
MUITO REMOTA	1	APENAS PERCEPTÍVEL	1	MUITO ALTA	1	BAIXO	1 - 135				
MUITO PEQUENA	2	POUCA IMPORTÂNCIA	2, 3	ALTA	2, 3	MODERADO	136 - 500				
PEQUENA	3	MODERADAMENTE GRAVE	4, 5, 6	MODERADA	4, 5, 6	ALTO	501 - 1000				
MODERADA	4, 5, 6	GRAVE	7, 8	PEQUENA	7, 8						
ALTA	7, 8	EXTREMAMENTE GRAVE	9, 10	MUITO PEQUENA	9						
MUITO ALTA	9, 10			REMOTA	10						

Figura 5. Análise de modos, efeitos e criticidade de falhas, para disco rígido.

O cálculo do RPN é obtido a partir da multiplicação dos índices de probabilidade de ocorrência (O), gravidade (G) e probabilidade de detecção (D), para cada modo de falha identificado. Tal classificação permite a geração de planos de ação específicos e definição das prioridades de atuação.

5 RESULTADOS

Dependendo da complexidade do ambiente ou do tipo de falha abordado, é comum a criação de extensas ou múltiplas árvores de falha e formulários FMEA, de modo que tratar item por item pode se tornar impraticável. É possível, portanto, dividir a análise em etapas, estabelecendo um critério a cada ciclo para as atuações mais prioritárias, até que todas sejam atendidas. O mesmo pode ocorrer com o item de falha abordado. Assim que todos os planos de ação para o elemento mais crítico forem desenvolvidos, um novo ciclo de análise é gerado, considerando o segundo elemento com mais falhas ocorridas, ou potenciais.

Para desenvolvimento dos planos de ação e tratamento do elemento “disco rígido” na primeira etapa, foi estabelecido um critério de corte a partir do RPN 250. Todos os itens classificados a partir deste valor devem ser atendidos em caráter imediato, de acordo com os planos definidos.

Tabela 3. Ações recomendadas

ITEM	RPN	FALHA	AÇÕES RECOMENDADAS
1	432	Falha em disco interno.	Analisar matriz de suportabilidade do ambiente e ajustes necessários
			Migrar todos os sistemas em disco interno para <i>Storages</i>
			Implantar de rotinas automáticas de backup de volumes em <i>Storage</i> para discos internos, após migração
			Implantar ferramentas de monitoração preditiva
			Criar procedimentos para implantação de novos sistemas com a redundância adequada
			Utilizar configuração redundante
			Definir periodicidade para inspeção física e lógica no ambiente
2	420	Desvio em procedimento de configuração ou manutenção.	Criar procedimentos para atividades de rotina, novas configurações e atendimentos de contingência
			Realizar atividades de interferência no ambiente com o acompanhamento de, pelo menos, um administrador do sistema
			Limitar acesso ao ambiente somente a pessoas autorizadas
			Buscar o apoio de pessoas certificadas para atualizações no ambiente
			Definir periodicidade de testes de contingência para validação do procedimento e difusão de conhecimento entre os envolvidos
3	400	Travamento no ambiente, decorrente de <i>bug</i> no sistema.	Analisar matriz de suportabilidade do ambiente e ajustes necessários
			Implantar ferramentas de monitoração preditiva
			Buscar o apoio de pessoas certificadas para atualizações no ambiente
			Definir periodicidade para buscar versões atualizadas e implantar, durante paradas programadas do ambiente
4	280	Falha em bateria(s) de cache.	Implantar ferramentas de monitoração preditiva
			Definir periodicidade para inspeção física e lógica no ambiente
			Criar controle de vida útil das baterias de cache instaladas nas áreas
			Utilizar configuração redundante
5	270	Travamento no ambiente, decorrente de configuração não suportada.	Analisar matriz de suportabilidade do ambiente e ajustes necessários
			Buscar o apoio de pessoas certificadas para atualizações no ambiente
			Definir periodicidade para buscar versões atualizadas e implantar, durante paradas programadas do ambiente
			Definir periodicidade para inspeção física e lógica no ambiente

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no estudo permitem consolidar uma metodologia para análise de falhas abrangente não apenas aos ativos de automação ou TI, mas flexível a qualquer produto, processo ou projeto, desde a fase de concepção até o fim do seu ciclo de vida. No contexto abordado, a existência de uma base de dados com o histórico de ocorrências e classificação do tipo de falhas em muito contribuiu para a representatividade da pesquisa por permitir um direcionamento quantificado. Nesse sentido, quanto mais rica e assertiva for a base de dados, maior a probabilidade de eficácia na etapa de aquisição e classificação das falhas potenciais.

O uso de outras ferramentas de apoio à qualidade no processo de análise, a exemplo do ciclo PDCA, também é sugerido e recomendado, na busca por uma estratégia de manutenção de classe mundial.

Para promover a sustentabilidade do processo de manutenção, Nonaka e Takeuchi⁽⁶⁾ defendem a externalização, ou seja, a transformação do conhecimento tácito em explícito, a partir da criação de procedimentos com base nos planos de ação definidos, para ações preventivas, análises preditivas e atuações corretivas.

É importante também considerar que a avaliação está diretamente relacionada com o cenário abordado e um novo ciclo pode ser necessário a cada gestão de mudança praticada.

Agradecimentos

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e, em especial, à ArcelorMittal Tubarão, objeto de estudo, que proporcionou os recursos e apoio necessários para a sua viabilização.

REFERÊNCIAS

- 1 XENOS, H. G. d'P. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004. 302 p.
- 2 HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas (aplicação dos métodos de FMEA - FTA): TQC - Gestão pela qualidade total, série ferramentas da qualidade**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Fundação Christiano Ottoni, v. 11, 1995. 156 p.
- 3 SCIPIONI, A.; et al.. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. **Food Control**, Padova, Italy, v. 13, n. 8, pp. 495-501, 2002.
- 4 ARABIAN-HOSEYNABADI, H.; ORAEE, H.; TAVNER, P. J. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. **Electrical Power and Energy Systems**, v. 32, n. 7, pp. 817-824, 2010.
- 5 LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001. 388 p.
- 6 NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação**. 4. ed. Rio de Janeiro : Campus, 1997. 358 p.