

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

SÉRGIO FIGUEIREDO PEREIRA

**USO DA ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS – FMEA
E LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA PARA DETECÇÃO DE
FALHAS E ANÁLISE DE RISCOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO EM
AMBIENTE INDUSTRIAL**

SANTOS/SP

2016

SÉRGIO FIGUEIREDO PEREIRA

**USO DA ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS - FMEA E
LÓGICA PARA CONSISTENTE ANOTADA PARA DETECÇÃO DE
FALHAS E ANÁLISE DE RISCOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO EM
AMBIENTE INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Dr. Maurício Conceição Mário e co-orientador Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho.

SANTOS/SP

2016

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Pereira, Sérgio Figueiredo.

Uso da Análise dos Modos de falha e seus efeitos - FMEA e da Lógica Paraconsistente Anotada para detecção de falhas e análise de riscos em sistemas de informação em ambiente industrial/Sérgio Figueiredo Pereira -- 2016
87p.

Orientador: Mauricio Conceição Mario
Coorientador: João Inácio da Silva Filho

Dissertação de Mestrado - Universidade Santa Cecília,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica Mestrado
Em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2016.

1. Gerenciamento de Riscos em TI. 2. FMEA. 3. Lógica Paraconsistente.
4. Lógica Paraconsistente Anotada.
 - I. Mario, Mauricio Conceição, orientador
 - II. Da Silva Filho, João Inácio, coorientador
 - III. Título. Uso da Análise dos Modos de falha e seus efeitos - FMEA e da Lógica Paraconsistente Anotada para detecção de falhas e análise de riscos em sistemas de informação em ambiente industrial.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas - Unisanta

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, nosso criador e à minha família, por me permitir a continuar a acreditar na vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Maurício Conceição Mário, pela orientação, dedicação, compreensão e contribuição para o desenvolvimento desse trabalho, dando a devida certeza que tudo seria possível.

Ao Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho, pela contribuição preciosa no ensino da Lógica Paraconsistente.

À querida mestra Dra. Maria Cristina Pereira Matos, pelo grande incentivo no início e no decorrer desse trabalho, em especial no momento de sua finalização.

Aos meus colegas de mestrado e amigos pela amizade, companheirismo e auxílio-mútuo.

À minha esposa Eliana Helena Golegã Almiron, eterna companheira nesta atual jornada terrena, que sempre me apoiou com seu incentivo incançável que juntamente com meus filhos Danilo e Renata deram um incentivo e compreensão, que certamente não conseguiria sem este incondicional apoio

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas”.

Carl Sagan

RESUMO

Um dos grandes desafios das empresas é manter seus processos operacionais devidamente sob controle, atingindo os níveis de qualidade e produtividade com menor perda operacional possível. Paradas programadas fazem parte do contexto industrial, melhorando, assim, os índices de manutenção dos recursos. No entanto, são as Paradas Operacionais emergenciais, que pela imprevisibilidade, maximizam o risco e geram transtornos nos prazos de produção e, em questões de qualidade, causando, portanto, os maiores impactos da inoperância operacional. Desta forma, a Tecnologia de Informação (TI) e a Tecnologia de Automação (TA), através dos seus métodos, estão cada vez mais inseridos neste processo produtivo. Este trabalho apresenta uma proposta de adaptação da FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*, para análise de falhas operacionais ocorridas em ambiente industrial cujo incidente tenha sido debitado para a TI/TA. Para atenuar a subjetividade do homem em formatar o indicador de detecção, foi utilizada a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de 2 valores – LPA2v, que preconiza a maior acuracidade na obtenção do referido índice de detecção. O uso destas técnicas em conjunto é proposto para minimizar as referidas falhas, através do mapeamento de severidade, ocorrência e principalmente a detecção de eventuais riscos. Para tanto, foram coletadas informações de uma base de dados sobre paradas operacionais, no ambiente industrial, entre o período 2007 a 2012, usando inicialmente a FMEA, com o conseqüente gerenciamento dos riscos. Os resultados permitiram observar que os eventos de paradas emergenciais foram reduzidos. Com a aplicação da LPA2v, juntamente com FMEA neste mesmo estudo, nos processos de um determinado torno caracterizado por controles numéricos computadorizados - CNC, pode-se obter maior precisão. Sendo assim, é possível considerar que o uso das duas técnicas, em conjunto, pode aumentar a confiabilidade nos sistemas industriais na identificação da detecção de eventuais falhas de TI/TA, aumentando a precisão do cálculo do Número Potencial do Risco - NPR.

Palavras-Chave: FMEA – Failure Mode and Effects Analysis. Lógica paraconsistente anotada. Gerenciamento dos riscos. Falhas de TI/TA.

ABSTRACT

One of the biggest challenges for the companies is to maintain its operational processes under control, reaching levels of quality and productivity with lowest operational loss possible. Scheduled maintenance stoppages are part of the industrial context, improving resource maintenance indexes. However is the Operational emergency Stops, which, by the unpredictability, maximize risk and generate disruptions on production schedules and quality, resulting the largest impact of the operational fail. Thereby, the Information Technology (IT) and Automation Technology (AT), through their processes, are increasingly included in this productive process. This work presents a proposal for the adaptation of FMEA - Failure mode and effects analysis, for the analysis of operational failures in industrial sphere whose incident has been charged for IT / AT. To mitigate the subjectivity of the man in the format detection indicator, it was used the Paraconsistent Annotated Logic with annotation of 2 values - PAL2v, that proposes, to give greater accuracy in obtaining that detection index. The use of such techniques, together, is proposed to minimize these shortcomings, through mapping severity, occurrence, and mainly the detection of possible risks. Therefore, a study was done by collecting information from an operational stoppages data, within industrial environment, between 2007 to 2012, initially using the FMEA, and the consequent risk management. It was noted the reduction of emergency stops. Applying the PAL2v, with FMEA in this same study, in processes of a particular lathe, characterized by computerized numerical control – CNC, it might achieved a greater precision. Consequently, it is concluded that the use of the two techniques together can increase the reliability in industrial systems in identifying possible faults of IT/AT, increasing the accuracy of calculation for the number of potential risk - NPR.

Key-words: FMEA – Failure mode and effects analysis. Paraconsistent annotated logic. Risk management. Faults of IT/AT.

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Questionários da relevância na detecção da falha.....	51
Tabela 2 - Proposições com grau de evidência da afirmação e refutação.	54
Tabela 3- Grau de evidência real resultante.....	56
Tabela 4- Blocos utilizados inicialmente na arquitetura.....	59
Tabela 5 - Tabela da arquitetura final da Aplicação Paraconsistente.....	61
Tabela 6- Tabela de Faixas Resultantes para determinar o índice de detecção.....	62
Tabela 7 - Falhas ocorridas (em quantidades).....	65
Tabela 8 - Falhas ocorridas no Processo Tomar referência e iniciar o processo de torneamento.	66
Tabela 9 - Principais motivos das falhas emergenciais.....	76
Tabela 10 - Análise comparativa antes e depois da FMEA.....	76

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Severidade da FMEA.	24
Quadro 2 - Ocorrência das falhas - FMEA	26
<i>Quadro 3</i> - Quadro de detecção das falhas - FMEA.	28
Quadro 4 - Tabela de severidade adaptada da FMEA.....	43
Quadro 5 - Tabela de ocorrência adaptada da FMEA.....	44
Quadro 6 - Tabela de detecção das falhas adaptada da FMEA.....	45
<i>Quadro 7</i> - Natureza das falhas, adaptadas da FMEA de processos.....	46
Quadro 8 - 6 M – Causa Raiz das falhas.	47
Quadro 9 - Propostas de questionários (Relevância da falha)	48

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1- Passos para elaboração da FMEA.....	24
Figura 2 - Classificação das principais lógicas.....	30
Figura 3- Reticulado de Hasse.....	34
Figura 4- Reticulado LPA2v.....	36
Figura 5 - Representação da análise paraconsistente.....	38
Figura 6 - Quadro unitário no plano cartesiano – QUPC.....	38
Figura 7 - Estrutura do NAP - Nó da Análise Paraconsistente.....	39
Figura 8 - Diagrama de Ishikawa (ou causa e efeito).....	47
Figura 9 - Reticulado representativo da LPA2v.....	52
Figura 10 Bloco de análise paraconsistente anotada com anotação de 2 valores –	58
Figura 11 - Blocos com aplicação do fator de ajuste.....	60
Figura 12 - Diferença em Evidência Real Parcial X Evidência Real Final.....	60
Figura 13 - Processos de Usinagem em Torno CNC.....	64
Figura 14 - FMEA do processo de torneamento.....	68
Figura 15 - Modelo de FMEA adaptada ao algoritmo da LPA2v.....	69
Figura 16 – Exemplo da FMEA - Processo de usinagem – Adaptada à LPA2v.....	72
Figura 17 - Exemplos de formatação da FMEA.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Paradas operacionais - em horas - responsabilidade TI/TA.	744
Gráfico 2 - Responsabilidades de TI/TA nas falhas emergenciais - em horas.	755
Gráfico 3 - Natureza das falhas emergenciais.....	755
Gráfico 4 - Média das horas no período.	777

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

τ	Reticulado finito
\sim	Operador de negação
μ	Grau de crença (ou de evidência favorável)
λ	Grau de descrença (ou evidência desfavorável)
T	Inconsistente
V	Verdadeiro
\perp	Paracompleto
\mathbb{R}	Conjunto dos números reais
G_c	Grau de certeza
G_{ct}	Grau de contradição
p	Proposição inicial
p_T	Conotação de inconsistente à proposição p
p_1	Conotação de verdade à proposição p
p_0	Conotação de falsidade à proposição p
p_{\perp}	Conotação de indefinição à proposição p
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
QUPC	Quadrado unitário do plano cartesiano
$\perp \rightarrow f$	Paracompleto tendendo ao falso
$\perp \rightarrow v$	Paracompleto tendendo ao verdadeiro
$T \rightarrow f$	Inconsistente tendendo ao falso
$T \rightarrow v$	Inconsistente tendendo ao verdadeiro
$Q_v \rightarrow T$	Quase-verdadeiro tendendo ao inconsistente
$Q_f \rightarrow T$	Quase-falso tendendo ao inconsistente
$Q_f \rightarrow \perp$	Quase-falso tendendo ao paracompleto
$Q_v \rightarrow \perp$	Quase- verdadeiro tendendo ao paracompleto
G_i	Grau de incerteza

φ	Intervalo de certeza
(\pm)	Intervalo de certeza sinalizado
φ_E	Intervalo de evidência resultante
(\pm)	Intervalo de evidência resultante sinalizado
G_{Cr}	Grau de certeza resultante
G_{CR}	Grau de certeza real
TA	Tecnologia de automação
TI	Tecnologia de informação
Vicc	Valor inferior de controle de certeza
Vicct	Valor inferior de controle de contradição
Vscc	Valor superior de controle de certeza
Vscct	Valor superior de controle de contradição

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Relevância do Tema	19
1.2	Estrutura da Dissertação	20
1.3	Características da FMEA – Failure Mode and Effect Analysis	21
1.4	Passos para elaboração do FMEA.	23
1.4.1	Índice de severidade da falha (S)	24
1.4.2	Índice de ocorrência (O)	26
1.4.3	Índice de detecção (D)	27
1.4.4	Benefícios da FMEA para as empresas	29
1.5	Fundamentações da Lógica Paraconsistente Anotada	29
1.5.1	Lógica clássica e lógica não-clássica	29
1.5.2	Lógica Paraconsistente	31
1.5.3	Teorias inconsistentes e triviais	32
1.5.4	Lógica paraconsistente anotada (LPA)	33
1.5.5	Lógica paraconsistente anotada com anotação de dois valores (LPA2v)	35
1.5.6	Nó da Análise Paraconsistente- NAP	39
2	OBJETIVOS	40
3	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1	Modelagem do Banco de Dados	42
3.2	Adaptação das tabelas da FMEA (severidade, ocorrência e detecção)	43
3.3	Natureza das Falhas	45
3.4	Causa Raiz das Falhas (6M)	46
3.5	Considerações sobre os itens a serem utilizados nas proposições de detecção.	47
3.5.1	Coleta de dados e FMEA	48
3.6	Formatação das Respostas sobre os 100 Especialistas questionados	50
3.6.1	Proposições de detecção	52
3.7	Arquitetura dos Blocos da Análise Paraconsistente Anotada com anotação de 2 valores – Blocos da LPA2v	56
3.8	Estudo de Caso: Processo de Usinagem em um Torno com uso de Controle Numéricos Computadorizados - CNC	62
3.8.1	Descrições do processo de usinagem	63
3.8.2	Principais falhas encontradas nos Processos de Usinagem	64
3.8.3	Avaliação dos riscos – cálculo do NPR (Sem uso da LPA2v)	65
3.8.4	Gerenciamento dos riscos – Elaboração da FMEA com plano de ação	67
3.8.5	Modelo adaptado da FMEA, utilizando a LPA2v	69

3.8.6 Formatação da FMEA do estudo de caso de usinagem utilizando a LPA2v	70
4 RESULTADOS	73
4.1 Demonstrativos da situação encontrada no período do levantamento das informações.	74
4.2 Melhorias encontradas após a detecção utilizando as técnicas da LPA2v	79
5 CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
GLOSSÁRIO DE APÊNDICES	87
APÊNDICE A – Formatação da FMEA adaptada para o estudo de caso	88

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a competitividade entre as empresas é determinada pela qualidade de seus recursos, pelo conhecimento que são capazes de produzir e pela capacidade de aplicar ciência, tecnologia e conhecimento, na produção industrial (PEREIRA, 2007 e LAURINDO, 2007).

A Tecnologia da Informação (TI) é fundamental no desenvolvimento dos processos industriais por todo o mundo. Com o crescente aumento da dependência das organizações em relação à TI, a importância do Gerenciamento de Serviços da referida área torna-se maior com o passar dos tempos (MAGALHÃES e PINHEIRO, 2008). Devido à grande variedade de recursos de TI existentes, a gestão dessas tecnologias junto aos processos industriais é caracterizada por uma complexidade elevada (GEHRMANN, 2010). Porém, apesar de algum tempo de existência, ainda há deficiência em relação à qualidade e confiabilidade dos produtos e processos gerados por essa tecnologia (RIBEIRO, 2009).

Nesta dimensão da qualidade, a confiabilidade, vem se tornando cada vez mais essencial aos clientes (internos ou externos da organização), pois a falha de um produto, ou de um processo, mesmo que prontamente reparada, causa no mínimo uma insatisfação, que por sua vez gera insegurança, sendo que em alguns casos estas situações podem trazer consequências drásticas para a instituição, conforme afirmam Amaral e Toledo (2007).

A necessidade de reduzir as possíveis falhas existentes no uso dos sistemas informatizados, tornando a informação o mais confiável possível, tornou-se de suma importância para as tomadas de decisões. As empresas de serviços e os processos empresariais dependem da operação continuada de seus equipamentos para prover serviços com rapidez (JURAN, 1992).

Falhas podem ser definidas como qualquer obstáculo no funcionamento de determinado sistema, seja ele físico ou lógico, que permanecem até que sejam tomadas providências corretivas (NEPOMUCENO, 1989). Sendo assim as Organizações necessitam discriminar os diferentes tipos de falhas, pois elas sempre existirão num processo organizacional, que sejam imperceptíveis, sem relevância, mas, principalmente as que geram prejuízos de ordem econômica e social, colocando em risco o referido processo (SLACK, STUART e JOHNSTON, 2009).

Todavia as falhas podem ocorrer por diversas razões: Falhas de Projetos; Falhas nas instalações; Falhas de pessoal; Falhas de Fornecedores; Falhas de Clientes e de acordo com Slack, Stuart e Johnston (2009) existem 3 formas de medir falhas: Taxa de Falhas (TF) – frequência com que a falha ocorre; Confiabilidade – probabilidade da falha ocorrer; e Disponibilidade – Período de tempo útil para operação.

Em estudo realizado pelo Gartner Group, Inc., em 2000, apresentado por Donna Scott (“Operation Zero Downtime, em maio de 2002”) foi constatado que 80% das causas de *downtime* (tempo de inatividade) nos serviços de TI são decorrentes de problemas relacionados com a operação destas atividades, como: aplicações não-testadas; má gerência de mudanças; sobrecarga de processamento; falhas em procedimentos; falhas no cumprimento de requisitos; erros relacionados à segurança ou às rotinas de *backup*, entre outras.

Neste contexto, o uso da TI desencadeou uma onda de inovações tecnológicas em coletar, armazenar, processar, transmitir e apresentar informações (TURBAN, et al., 2004). Uma vez que se tenha condições de conhecer e compreender as causas e efeitos de possíveis falhas, enfatizando o gerenciamento de riscos (BOEHM; DEMARCO, 1997), os processos de desenvolvimento de *software* sofrerão menor impactos, uma vez que os projetos de *software* devem ser feitos por partes e têm como principais características a complexidade subjetiva, para que se tenha a segurança na sua implantação (PRESSMAN, 2006). A falta de liderança e a mudança de tecnologia também são indicadas como fatores de falhas em projetos de TI (SILVA, VIEIRA, BERGAMASCHI e PENHA, 2013)

Assim, uma técnica que direciona a compreensão das causas e modos de falhas e seus efeitos e procura prevenir as causas com maior probabilidade de risco é a *FMEA (Failure mode and effect analysis)*, sendo utilizada para avaliação de confiabilidade e determinar o efeito de falhas em sistemas e equipamentos (AUGUST, 2002). É também amplamente adotada pela indústria automobilística, a qual elaborou manuais específicos sobre seu uso e introduziu como requisito obrigatório em suas normas, como pode ser verificado na QS 9000, VDA e ISO/TS 16949:2002, extendendo-se, portanto, para os fornecedores diretos da cadeia automotiva em seus produtos e processos (AUGUST, 2002).

Nota-se que a FMEA é um método bastante aceito e aplicado como método de priorização e planejamento de ações de melhoria (SOUZA, 2012).

Em um ambiente altamente competitivo, no qual o mundo dos negócios se insere atualmente, é fundamental que as empresas tenham confiabilidade nos seus produtos e processos, não só na cadeia automotiva, como também nas áreas de ambiente industrial. Desta forma uma abordagem bem estruturada de análise dos modos de falhas e seus efeitos pode ser um diferencial competitivo (PEREIRA, 2007 e LAURINDO, 2007)

Esta abordagem pode ser também ampliada aos recursos da Tecnologia da Informação, integrada por toda a empresa, no que diz respeito aos aspectos relativos a automação e controle, para uma maior eficiência nas tomadas de decisões (LORENZI, 2006).

Para o desenvolvimento da metodologia proposta nesta dissertação, optou-se pela utilização das técnicas da *FMEA*, adequando-se ao problema abordado, auxiliando na investigação e análise das causas de falhas que contribuem com o possível aumento dos indicadores de continuidade das atividades dos recursos de TI nas áreas industriais.

Como a proposta do presente estudo é fornecer uma classificação das linhas de produção com maior ocorrência de falhas, para dar suporte à metodologia *FMEA*, foi utilizada a Lógica Paraconsistente anotada com anotação de 2 valores, LPA2v, a qual é capaz de tratar as informações sobre detecção de referidas falhas, considerando o conteúdo de certeza e incerteza contido nas mesmas, atenuando a subjetividade relacionada ao ser humano no reconhecimento das diversas formas de detecção.

Sendo assim, é fundamental o desenvolvimento de ferramentas adequadas para que se possa elaborar uma boa análise de dados, buscando interpretar informações armazenadas em bancos de dados, para que possam proporcionar conhecimentos que poderão se tornar relevantes para tomadas de decisões (RISSINO, 2009).

1.1 Relevância do Tema

A Lógica é um conjunto de normas e procedimentos em consonância com os estudos psicológicos, cuja finalidade é dar orientação e, por assim dizer, dirigir as operações do pensamento humano (ABE & DA SILVA FILHO, 2000).

Portanto, a Lógica é a ciência que estuda as regras do raciocínio humano, onde este raciocínio é a operação mental por meio do qual, a mente, partindo de uma ou mais relações, conclui outra relação. Assim sendo, a Lógica estabelece a maneira certa de como a razão deve operar (ABE & DA SILVA FILHO, 2000).

Por sua vez a *FMEA* é um método analítico, já consolidado no ambiente da indústria automobilística, que consiste na identificação dos possíveis modos de falha e permite determinar o efeito de cada uma destas falhas seja pelo desempenho de um sistema, seja no desenvolvimento de um produto, ou mesmo de um processo. Trata-se de um método de estudo das causas fundamentais dos problemas de produtos e/ou, processos que visa analisar as falhas críticas e elaborar um plano de ação para o bloqueio das falhas detectadas (HELMAN e ANDERY, 1995).

A *FMEA* tem como principal objetivo reduzir o risco associado às falhas potenciais e existentes e, com isso, reduzir a possibilidade de que estas possam vir a alcançar o(s) cliente(s). Este risco é avaliado por meio do Número de Prioridade de Risco, ou Número Potencial de Risco (NPR), sendo este calculado pelo produto da Severidade (S), com a Ocorrência (O) e as Formas de Detecção (D). Portanto, o $NPR = S * O * D$.

Entretanto o maior problema na elaboração da *FMEA* é a subjetividade da detecção, ou seja, o quanto é possível para os especialistas mensurar a forma de detectar uma falha gerada por diversos fatores. Por isso, optou-se em escalar a detecção através dos conceitos da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de 2 Valores (LPA2v), permitindo assim, um maior índice de certezas para apontar os valores referentes a detecção, minimizando, então as incertezas.

A ordenação dos índices S, O e D para o critério de estimativa de risco pode ter qualquer valor, não havendo portanto, um padrão para cada valor. Logo, neste trabalho a metodologia *FMEA* será utilizada numa escala de 1 a 10 (STAMATIS, 1995).

1.2 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: Na introdução é feito um breve histórico e comentários sobre a relevância de se detectar falhas cada vez mais cedo, e assim poder tomar medidas que possam mitigar referidas falhas e dessa forma, minimizar os seus efeitos. Também é abordada a relevância das

Tecnologias de Informação e de Automação em indústrias de base e como elas podem auxiliar diretamente em seus processos. Ainda neste item introdutório são apresentadas a relevância do tema e as características das Análises dos modos de falhas e seus efeitos – *FMEA* e a Fundamentação da Análise Paraconsistente. No capítulo 2, são apresentados os objetivos. O capítulo 3, traz como teor os Materiais e Métodos utilizados para elaborar a *FMEA* com o uso da LPA2v para obter a detecção de falhas com maior índice de confiabilidade e como foram realizadas as pesquisas de campo para se calcular o referido índice de detecção. Dentro do capítulo 4, apresentam-se os resultados, os quais estão descritos a aplicação da *FMEA* sem o uso da Lógica Paraconsistente e depois de se aplicar na nova estrutura dos Blocos da Análise Paraconsistente para cada proposição obtida na pesquisa. Na sequência é demonstrada a Conclusão, no capítulo 5, mostrando os benefícios do uso das duas técnicas para gerenciar riscos sobre a inoperância da TI e TA, nas indústrias. Por fim, são apresentadas as referências fundamentais na elaboração deste trabalho.

1.3 Características da FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

A falha é a deficiência da capacidade de um item em atender as suas funcionalidades planejadas (VIEIRA, 2008). Complementando Vieira, Blache e Shrivastava (apud OLIVEIRA, et al., 2010), definem falhas como eventos que determinam a inadequação de um recurso ao uso.

É possível afirmar que nenhuma operação produtiva seja indiferente às falhas, porém em algumas é crucial que os produtos e serviços não falhem, culminando em prejuízos que podem alcançar grandes proporções nos aspectos industriais (SLACK, 1997).

Dentro deste contexto é que a técnica *FMEA* (análise do modo e efeito de falha) busca a prevenção de falhas no processo ou projeto a ser executado ou revisado (PAPADOUPOULOS et al., 2004). Dessa forma, foi desenvolvida pela Agência Americana NASA (National Aeronautics and Space Administration) na década de 1960, conforme Fernandes e Rebelato (2006).

Quando a Ford Motor Company, começou a utilizar o referido método na fabricação de seus produtos automotivos, no início da década de 1970, identificando falhas potenciais (FORD MOTOR COMPANY, 2004; então seu uso passou a ser

utilizado de forma mais abrangente difundindo-se e consolidando-se de forma inquestionável seu uso para toda a rede de fornecedores com a norma QS 101 (BONANOMI et al., 2010).

Nos esclarecimentos de Toledo e Amaral (2007), a *FMEA* considera as falhas no planejamento da execução do processo, objetivando evitar a ocorrência de falhas no decorrer do desenvolvimento do sistema. Essa análise consiste basicamente na formação de um grupo de pessoas que identificam para o produto/processo as suas funções, os tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas desta falha. Na sequência são avaliados os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nesta avaliação, são tomadas as ações necessárias para diminuir os riscos, aumentando desta forma, a confiabilidade dos produtos/processos. As falhas possuem diferentes prioridades, por isso é fundamental identificá-las. Para tanto, são estabelecidos valores para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente de (HELMAN e ANDERY, 1995): (S) - índices de severidade para cada falha; (O) – Faixa de ocorrência das falhas; (D) – detecção (indicador de quanto é possível ou impossível).

A partir destes dados, devidamente formatados em tabelas referentes aos índices acima descritos, pode-se calcular o Número Potencial do Risco (NPR), através da expressão: $NPR = S * O * D$.

A execução do estudo de um produto ou de um processo sob o prisma da ferramenta *FMEA*, se inicia a partir dos subsistemas mais simples do produto, ou seja, procura determinar os modos de falha dos itens mais simples (menor itens de abstração, para o caso de sistemas computadorizados), as suas causas e, de que maneira eles podem afetar os seus níveis superiores, englobando por sua vez o sistema total. Essencialmente, procura-se detectar para cada componente; ou seja, como ele pode falhar; que partes do produto são afetadas; quais os efeitos sobre as funções do produto (alteração de desempenho); qual a gravidade dessas alterações de funções; e por fim, como prevenir as falhas (KAMINSKI, 2000).

A utilização da técnica da *FMEA* é altamente subjetivo e requer um trabalho considerável de suposição em relação as possibilidades e a sua prevenção, tanto no que se refere à Severidade, como faixas de ocorrência, mas principalmente nas formas de detecção (PALADY, 1997).

Essa suposição é feita pelas experiências de especialistas no negócio, seja produto, processo, ou mesmo serviços através de suas experiências.

Geralmente, são usadas bases de dados históricos para se obter dados sobre faixas de ocorrências e de desempenho de gerações anteriores do projeto, a fim de contribuir para identificação de alguns modos de falha potenciais, de suas conseqüências e das causas atribuídas aos mesmos. Caso não haja dados históricos devidamente catalogados, os experientes do negócio a ser estudado devem se basear totalmente no seu conhecimento e perspicácia.

Convém observar que a *FMEA* é proativa, implicando na eliminação de problemas potenciais antes que eles sejam realmente criados em um protótipo (PALADY, 1997).

Conforme sugestão da QS-9000 – FMEA – AIAG (1997), para elaboração de *FMEA*, tanto de processos, como de produtos, devemos seguir 5 passos, que serão abordados na sequência.

1.4 Passos para elaboração do FMEA.

Antes de descrever os passos para elaboração da *FMEA*, é essencial que uma equipe bem selecionada, com conhecimentos nos produtos e processos que serão alvo deste mapeamento de riscos, esteja muito bem estruturada (PALADY, 1997). Isso é recomendado para que se tenha uma boa coleta dos dados necessários para sua elaboração. Uma boa estrutura para este fim pode ser composta por equipes da Engenharia de Produção e Engenharia de Manufatura, compondo assim, uma equipe com conhecimento do Controle e Garantia da Qualidade dos produtos e processos (QS-9000 – FMEA - AIAG). Além dos conhecedores do negócio a ser aplicado (PALADY, 1997), bem como usuários que no caso seriam Analistas de TI e de TA.

Basicamente o método proposto no asseguramento da qualidade do que se refere a elaboração do *FMEA*, pode ser descrito em 5 passos:

Passo	Descrição
1	Elaborar a árvore de elementos de sistemas (estrutura gráfica do objeto a ser estudado);
2	Elaborar a árvore de funcionalidades para cada elemento identificado no passo anterior;
3	Identificar falhas para cada funcionalidade. Isto implica na “negação” da funcionalidade identificada no passo anterior. Este momento é apropriado, conforme a Natureza das Falhas, para negação da funcionalidade (Total, Parcial, Intermitência, Gradativamente e Demasiadamente);

4	<p>Avaliação de cada risco. Para cada falha identificada, apontar o valor respectivo a Severidade, a Ocorrência e a sua Detecção. Através de tabelas de 1 a 10 para cada um destes itens, sendo que o valor 10 é o mais crítico e o valor 1 de menor impacto para cada tabela. Estas tabelas são customizadas para cada empresa; Com base nestes valores, então são calculados os valores referentes ao Número Potencial (ou probabilístico) do Risco – NPR, conforme a expressão:</p> $\text{NPR} = \text{Severidade (S)} \times \text{Ocorrência (O)} \times \text{Detecção (D)}.$ <p>Para valores que ultrapassem o produto médio ($5 \times 5 \times 5 = 125$), então o próximo passo é essencial.</p>
5	<p>Otimização. Para os itens que superem os valores obtidos pelo produto estudado no item anterior (125), é necessário criar um plano de ação para diminuir as ocorrências (que dependem de estatísticas) ou que melhorem a detecção. A severidade sempre será a mesma e enquanto houver a falha ela é inalterável. Portanto, o fator primordial seria a melhoria na detecção, pois o valor correspondente na tabela diminuiria, obtendo-se um NPR inferior ao obtido anteriormente.</p>

Figura 1- Passos para elaboração da FMEA.

Adaptada pelo autor.

Fonte: QS-9000 – FMEA – AIAG (1997)

Para elaborar a *FMEA*, seja ela de produto, de processo ou de sistemas, deve-se seguir os valores dispostos nos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção, como demonstrado a seguir:

1.4.1 Índice de severidade da falha (S)

Trata-se de um indicador do impacto do efeito que um modo de falha potencial trará aos usuários de um produto, processo ou mesmo sistema, caso esta falha ocorra.

Estes classes tratam da severidade que, em acontecendo a falha, o seu efeito pode ser compreendido. Dessa forma, é possível perceber que severidade com valor da classe alto, tem uma gravidade que pode causar problemas de diversas ordens nos clientes e/ou usuários de um processo. Da mesma forma, valores cuja classe seja baixa, podem, inclusive nem ter efeito sobre o cliente.

Quadro 1 - Severidade da FMEA.

Tabela de severidade			
Efeito	Efeito no Cliente	Efeito na Manufatura/Produto	Classe de Severidade

Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto, quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	Ou pode pôr em perigo o operador (máquina ou montagem) sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto, quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	Ou pode pôr em perigo o operador (máquina ou montagem) com aviso prévio.	9
Muito alto	Veículo/Item inoperável (perda das funções primárias).	Ou 100% dos produtos podem ter que ser sucateados, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo, com um tempo de reparo maior que uma hora.	8
Alto	Veículo/Item operável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	Ou os produtos podem ter que ser selecionados e uma parte (menor que 100%) sucateada, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo, com um tempo de reparo entre 0,5 hora e 1 hora.	7
Moderado	Veículo/item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser sucateados sem seleção, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo, com um tempo de reparo menor que 0,5 hora.	6
Baixo	Veículo/item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos.	Ou 100% dos produtos podem ter que ser retrabalhados, ou veículo/item reparado fora da linha sem ir, no entanto, para o departamento de reparo.	5
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	Ou os produtos podem ter que ser selecionados, sem sucateamento, e uma parte (menor que 100%) ser retrabalhada.	4
Menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser retrabalhados, sem sucateamento, na linha mas fora da estação.	3
Muito menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser retrabalhados, sem sucateamento, na linha e dentro da estação.	2
Nenhum	Sem efeito identificado.	Ou pequena inconveniência no operador ou na operação, ou sem efeito.	1

Adaptada pelo autor.

Fonte: QS-9000 FMEA – AIAG (1997)

O Quadro 1 demonstra o uso da classe de Severidade proposto pela Norma QS-9000.

Para realizar a análise desse índice, no presente trabalho, adaptou-se uma tabela de procedimentos (Quadro 4), na qual foi utilizada como parâmetro para quantificação da referida classe, conforme a inoperância de determinada linha de produção ou de seus respectivos equipamentos.

1.4.2 Índice de ocorrência (O)

Este índice é utilizado para identificar a frequência com que uma falha ocorre para cada uma das causas, num determinado período.

Quadro 2 - Ocorrência das falhas - FMEA

Tabela de Ocorrência		
Probabilidade de Falha	Taxas de falha possíveis	Classe da Ocorrência
Muito Alta: Falhas Persistentes	100 por mil peças	10
	50 por mil peças	9
Alta: Falhas freqüentes	20 por mil peças	8
	10 por mil peças	7
Moderada: Falhas ocasionais	5 por mil peças	6
	2 por mil peças	5
	1 por mil peças	4
Baixa: Relativamente poucas falhas	0,5 por mil peças	3
	0,1 por mil peças	2
Remota: Falha é improvável	≤ 0,01 por mil peças	1

Adaptada pelo autor.

Fonte: QS-9000 FMEA – AIAG (1997)

O Quadro 2 mostra os valores de classes de ocorrência conforme demonstra a norma QS-9000. Neste trabalho, o Quadro 2 foi adaptada, de acordo com as faixas de inoperância de recursos da Tecnologia de Informação, impactando na produção industrial, cuja inoperância utilizou-se o tempo em horas de trabalho em caráter emergencial. A referida adaptação, será vista em próximos itens. O Quadro

de Ocorrência permite que se qualifique em classes, conforme a quantidade de falhas encontradas em peças, por faixa de valores a cada mil peças utilizadas. Pode ser medida em horas, para quando se está medindo tempo de utilização de determinado processo. No Quadro 2, por exemplo, extraída da *FMEA* de produtos, pode-se perceber que falhas que tem taxas altas, os valores de ocorrência são altos. No caso da Probabilidade de falha “Muito Alta” (Falhas Persistentes), significa que para cada 1000 peças encontradas, num determinado período, até 50 (classe 9) a 100 falhas foram identificadas, evidenciando a classe 10 para o pior caso. Para a situação de “Falhas Frequentes”, identificadas pela probabilidade “Alta”, até 10 falhas para cada 1000 peças indicam o valor 7 e acima desse valor, até 20 falhas pela mesma quantidade de peças, o valor da classe é 8. Dessa forma, a mesma característica pode ser demonstrada para cada valor, até o menor dele, que é a classe é 1, quando valor menor ou igual a 0,01 de probabilidade de falhas, para cada 1000 peças pode ser identificada. Desta forma, o entendimento da QS-9000 é que valores altos para falhas identificadas ou mesmo potencialmente caracterizada evidenciam valores altos (maior valor é 10) e para situações de probabilidade de falhas baixas, o índice de detecção é o menor valor possível, de valor 1.

1.4.3 Índice de detecção (D)

O índice de detecção (D) de um modo de falha representa a habilidade de se obter previamente a detecção das falhas, seja através de testes, de inspeções visuais ou mesmo por meio de recursos tecnológicos automatizados que possam sinalizar previamente a ocorrência das falhas e por sua vez atenuar a ocorrência de defeitos, conforme evidencia a norma QS-9000.

No presente trabalho, esse índice não foi estimado, modificado originalmente do manual pelas considerações da Lógica Paraconsistente Anotada, com a perspectiva de melhor estimar a qualidade do indicador, conforme descrito mais adiante na Tabela 6.

Quadro 3 - Quadro de detecção das falhas - FMEA.

Tabela de Detecção						
Detecção	Critério	Tipos de Inspeção			Faixas Sugeridas dos Métodos de Detecção	Classe de Detecção
		A	B	C		
Quase impossível	Certeza absoluta da não detecção.			X	Não pode detectar ou não é verificado.	10
Muito remota	Controles provavelmente não irão detectar.			X	Controle é alcançado somente com verificação aleatória ou indireta.	9
Remota	Controles têm pouca chance de detecção.			X	Controle é alcançado somente com inspeção visual.	8
Muito Baixa	Controles têm pouca chance de detecção.			X	Controle é alcançado somente com dupla inspeção visual.	7
Baixa	Controles podem detectar.		X	X	Controle é alcançado com métodos gráficos, tais como CEP (Controle Estatístico do Processo).	6
Moderada	Controles podem detectar.		X		Controle é baseado em medições por variáveis depois que as peças deixam a estação, ou em medições do tipo passa/não-passa feitas em 100% das peças depois que deixam a estação.	5
Moderadamente alta	Controles têm boas chances para detectar.	X	X		Detecção de erros em operações subseqüentes, OU medições feitas na preparação de máquina e na verificação da primeira peça (somente para casos de preparação de máquina).	4
Alta	Controles têm boas chances para detectar.	X	X		Detecção de erros na estação, ou em operações subseqüentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecer, selecionar, instalar, verificar. Não pode aceitar peça discrepante.	3
Muito alta	Controles quase certamente detectarão.	X	X		Detecção de erros na estação (medição automática com dispositivo de parada automática). Não pode passar peça discrepante.	2
Quase certamente	Controles certamente detectarão.	X			Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito a prova de erros pelo projeto do processo/produto.	1

Adaptada pelo autor.
Fonte: QS-9000 FMEA - AIAG

Tipos de Inspeção:
A. Prova de Erro
B. Medição
C. Inspeção Manual

O Quadro 3 demonstra o uso do indicador de detecção proposta pela norma QS-9000. Este indicador tem como finalidade formatar um valor que é usado, conforme o critério da detecção, de acordo com 3 tipos de inspeção: “A prova do erro”, quando se necessita ter uma prova da falha em questão; através da “Medição”, quando então se procura medir a falha ocorrida, dentro de uma metragem padrão, ou através de “Inspeção Manual”. Dentro destas características é possível classificar a detecção: “De quase Impossível”, cujo valor é o maior índice na detecção, valor 10 e até o “Quase certamente” a detecção ocorre, com o menor valor, índice 1.

1.4.4 Benefícios da FMEA para as empresas

Conforme Toledo e Amaral (2007), a metodologia FMEA pode proporcionar diversos benefícios para as empresas, tais como:

- Possibilidade de obter um catálogo de informações sobre as falhas dos produtos/processos;
- Melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos;
- Ações de melhoria nos projetos de produto/processo, baseado em dados e devidamente monitoradas (melhoria contínua);
- Diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas;
- Desenvolve uma lista classificatória de modos de falhas potenciais, estabelecendo um sistema de priorização para considerações de ações corretivas.
- Benefício de incorporar dentro da organização a atitude de prevenção de falhas, a atitude de cooperação e trabalho em equipe e a preocupação com a satisfação dos clientes, permitindo que seja possível se antecipar a falhas potenciais, minimizando possíveis transtornos de ordem operacional (TOLEDO e AMARAL ,2007).

1.5 Fundamentações da Lógica Paraconsistente Anotada

Os fundamentos da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) são extramamente necessários para o entendimento geral deste trabalho, bem como a justificativa e descrição das técnicas e ferramentas utilizadas para a construção de uma aplicação que possa dar embasamento para um Classificador Paraconsistente. Este Classificador Paraconsistente será construído utilizando a base de dados histórico de paradas operacionais das Linhas de Produção, seus Equipamentos e Máquinas Industriais, considerando que os responsáveis pela inoperância sejam sistemas gerados pela Tecnologia da Informação, bem como Tecnologia de Automação.

1.5.1 Lógica clássica e lógica não-clássica

Na Grecia antiga, o filósofo Aristóteles (384-322 a.C.) e seus seguidores, ao que tudo indica, criaram a Lógica que hoje denominamos de Lógica Clássica. Naquela época eles desejavam um instrumento (Organon) para definir os princípios universais do pensamento humano, que pudessem estabelecer regras práticas ao conhecimento da verdade (DA SILVA FILHO e ABE, 2000).

Algumas definições podem ser utilizadas, tais como que a Lógica é um conjunto de normas cuja finalidade é dirigir as operações do pensamento, deduzidas através das leis psicológicas. Portanto é a Ciência que estuda as Leis do Raciocínio, estabelecendo as maneiras corretas de como a razão operar o pensamento, independente se o raciocínio tem fundamento ou não na realidade. (DA SILVA FILHO e ABE, 2000).

A Lógica Clássica em seus fundamentos considera apenas duas situações, representadas pelos estados lógicos Verdadeiro ou Falso, respectivamente através dos valores 1 ou 0. Dessa forma é possível o entendimento que seus fundamentos são binários e são nestas conclusões, onde a tecnologia atual se fundamenta (DA SILVA FILHO; ABE 2000). Situações contraditórias, ambiguidades e até mesmo pouco claras para conclusões, que normalmente ocorrem no mundo real são praticamente impossíveis de se modelar (DA SILVA FILHO; ABE, 2000).

Diversas lógicas foram desenvolvidas com o intuito de complementar a Lógica Clássica Tradicional (LEMES NETO e VENSON, 2000), conforme mostrado na Figura 2 abaixo.

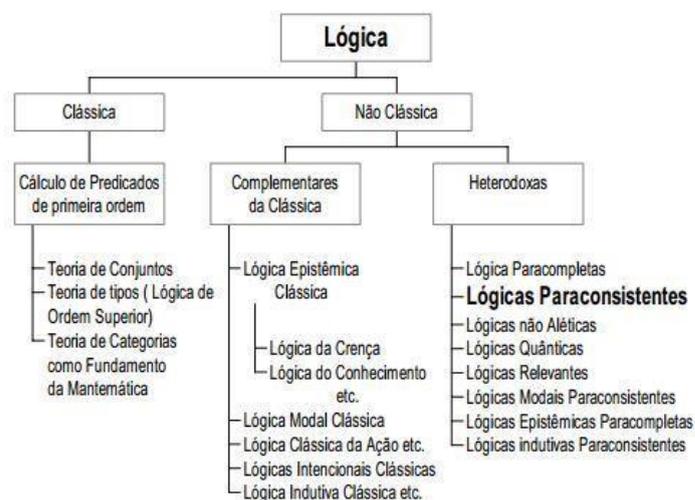


Figura 2 - Classificação das principais lógicas.

Fonte: LEMES NETO & VENSON, 2000.

Referidas Lógicas, intituladas como “Não Clássicas” vistas na figura acima podem ser classificadas como Complementares, que tem o propósito de ampliar a Lógica Clássica e Heterodoxas, que delimitam ou derrogam alguns dos seus princípios básicos (LEMES NETO e VENSON, 2000). Uma das Lógicas Heterodoxas é a Lógica Paraconsistente, que visa entre outras coisas, oferecer alternativas aos princípios clássicos da Não-contradição, que são insuficientes para tratar proposições cuja conclusão sejam valores de Verdadeiro e Falso (DA SILVA FILHO e ABE, 2000).

1.5.2 Lógica Paraconsistente

A representação da contradição utilizando a computação binária se torna impossível, já que o este modelo tem grandes dificuldades para tratar inconsistências, ambiguidades, paradoxos e incertezas que ocorrem frequentemente no dia a dia do mundo real (LEMOS NETO E VENSON, 2000).

A área da Inteligência Artificial é um dos exemplos onde a lógica clássica se apresenta como ineficiente, onde as incertezas, ambiguidades e contradições são constantes (LEMOS NETO E VENSON, 2000).

Para obtenção do conhecimento sobre determinado assunto, normalmente é necessário pesquisar e analisar a opinião de diversos especialistas. Possivelmente serão encontradas opiniões contraditórias, o que não impedirá de se chegar a uma conclusão, que poderá ser inclusive, totalmente nova, diferente das outras (DA SILVA FILHO et al., 2012).

Ainda para Silva Filho et al., 2012, a Lógica Paraconsistente é uma Lógica não clássica que possui como característica principal a admissão da contradição em sua estrutura. Devido a esta propriedade, mostra-se capaz de dar uma resposta mais satisfatória a problemas relacionados com situações não cobertas pela Lógica clássica.

O lógico polonês J. Lukasiewicz e o filósofo russo N.A. Vasilév, foram os precursores da Lógica Paraconsistente, que simultaneamente e independentemente, sugeriram a possibilidade de uma lógica que restringiria, por exemplo, o princípio da Não Contradição. Isso ocorreu entre a primeira década do século XX, há mais

ou menos 100 anos, por volta de 1910. A partir de então, seria possível destacar alguns pesquisadores de renome mundial que deram suas contribuições ao tema, como S. Jaskowski, polonês, discípulo de Lukasiewicz que em 1948 publicou várias ideias sobre lógica e contradição, mostrando como se poderia construir um cálculo sentencial paraconsistente. Esse sistema, nomeado por ele de lógica discursiva desenvolveu-se posteriormente em virtude da obra de diversos autores estrutura (DA SILVA FILHO, 2010).

Newton C. A. da Costa, brasileiro que a partir de 1954, desenvolveu vários sistemas paraconsistentes contendo todos os níveis lógicos usuais: cálculo proposicional, cálculo de predicados, cálculo de predicados com igualdade, cálculo de descrições e linguagem de ordem superior (DA SILVA FILHO, 1997).

O nome “Paraconsistente”, segundo Da Silva Filho (1997), foi utilizado pelo filósofo peruano Francisco Miró Quesada, em 1976 aos estudos de Newton C. A. da Costa. A partir daí este nome foi adotado pela comunidade científica mundial. (DA SILVA FILHO, 2010).

J.M. Abe, lógico brasileiro, que em 1992 apresentou um estudo com resultados relevantes da Lógica Paraconsistente, através de uma tese, chamada “Fundamentos da Lógica Anotada” (ABE, 1992), na Universidade de São Paulo.

Atualmente os estudos das lógicas Paraconsistentes tem atraído a atenção de um número grande e crescente de pesquisadores que vislumbraram ser possível manipular sistemas de informações inconsistentes, sem que tenham a devida precisão e portanto possam eliminar as contradições.

1.5.3 Teorias inconsistentes e triviais

Nos ensinamentos de Da Silva Filho (2006), teoremas são enunciados e demonstrados como verdadeiros em uma teoria. Seja **T** uma teoria fundada sobre uma lógica **L**, e suponha-se que a linguagem de **L** e **T** contenha um símbolo para negação. A teoria **T** diz-se inconsistente se ela possuir teoremas contraditórios, isto é, tais, que uma é negação da outra, caso contrário, **T** diz-se consistente. A teoria **T** diz-se trivial se todas as fórmulas de **L** forem teoremas de **T**; e, hipótese contrária, **T** chama-se não trivial (DA SILVA FILHO, 2010).

Se **L** for uma das lógicas comuns, como a Clássica, a teoria **T** é

trivial se e somente se for inconsistente. Lógicas como essas não separam os conceitos de inconsistência e trivialidade, pois segundo a Lógica Clássica, uma teoria inconsistente também é trivial e vice-versa. Como este é um resultado indesejável, a Lógica Clássica não admite a contradição como elemento aceitável sem torná-la trivial (DA SILVA FILHO, 2010).

A Lógica Paraconsistente é uma lógica que serve como base para teorias inconsistentes e não triviais (DA SILVA FILHO, 2010). Aplicando os conceitos de uma Lógica Paraconsistente torna-se possível a manipulação de sistemas inconsistentes de informações, sem subentender a trivialidade da teoria. Em situações que são necessárias análises mais realistas, a lógica clássica (por ser limitada aos valores verdadeiro ou falso) é conhecida por se mostrar ineficaz ou impossível de aplicar. No entender do autor, nestes casos, a Lógica Paraconsistente é uma alternativa a ser considerada para o tratamento do conhecimento incerto ou contraditório inerente a situações reais (DA SILVA FILHO, 2010).

1.5.4 Lógica paraconsistente anotada (LPA)

Os estudos da Lógica Paraconsistente deram origem a outros tipos de pesquisas relacionadas às Lógicas não-Clássicas, dentre estas foram constituídas as Lógicas Paraconsistentes Anotadas (LPA), conforme Subrahmanian (1987). De acordo com Da Silva Filho (1999) suas fórmulas proposicionais vêm acompanhadas de suas respectivas anotações, sendo cada qual pertencente a um reticulado finito τ representado pelo reticulado de Hasse, conforme a Figura 3. No reticulado, são atribuídos valores às suas fórmulas proposicionais correspondentes, onde as constantes anotacionais representarão os estados $\tau = \{T, V, F, \perp\}$, correspondentes respectivamente a Inconsistente (T), Verdadeiro (1), Falso (0) e Indeterminado ou Paracompleto (\perp), conforme alude Da Silva Filho (2013).

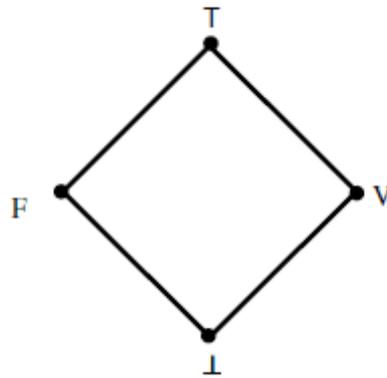


Figura 3- Reticulado de Hasse.

Fonte: Da Silva Filho, 2013

Na Lógica Clássica existem apenas dois estados: Verdadeiro ou Falso, representados respectivamente por 1 ou 0. Se se aplicar o operador de negação (\sim) sobre esses estados será obtido:

$$\sim (1) = 0$$

$$\sim (0) = 1$$

Na Lógica Paraconsistente Anotada, aplicando-se o operador de negação (\sim):

$\sim : |\tau| \rightarrow |\tau|$ sobre τ , reultará a seguinte definição:

$$\sim (1) = 0$$

$$\sim (0) = 1$$

$$\sim (T) = T$$

$$\sim (\perp) = \perp$$

As proposições da LPA são do tipo P_μ onde P é uma proposição no sentido comum e μ é uma constante de anotação que dá a conotação lógica à proposição (DA SILVA FILHO, 2013).

Para a anotação composta de valor único a proposição P_μ pode ser interpretada como: ‘creio na proposição P com grau de crença de até μ , sendo que, cada grau de evidência atribuído à proposição estará contido no conjunto de valores compostos pelas constantes anotacionais do reticulado $\{T, V, F, \perp\}$, que dará uma das conotações lógicas {“verdade”, “falsidade”, “inconsistência”, “indeterminação”} à proposição (DA SILVA FILHO, 2013).

Portanto, conforme Da Silva Filho (1999), uma sentença proposicional

associada ao reticulado da LPA será lida:

PT – “A anotação ou Grau de Evidência T atribui uma conotação de inconsistência à proposição P ”.

PV – “A anotação ou Grau de Evidência V atribui uma conotação de verdade à proposição P ”.

PF – “A anotação ou Grau de Evidência F atribui uma conotação de falsidade à proposição P ”.

$P\perp$ – “A anotação ou Grau de Evidência \perp atribuiu uma conotação de indeterminação à proposição P ” (DA SILVA FILHO, 2010).

1.5.5 Lógica paraconsistente anotada com anotação de dois valores (LPA2v)

A LPA2v é adequada para ajudar a solucionar inconsistências, pois para cada proposição são associados dois valores de crença ou graus de evidência (DA SILVA FILHO, 1999), cuja análise produz uma saída denominada estado lógico resultante. Isso é importante para tratar eventuais contradições, ou seja, quando os dados ou sinais, cuja origem pode ser de uma mesma fonte de dados, ou de fontes de dados diferentes, possam ser contraditórios.

Para Da Silva Filho (2013), a anotação pode ser representada por $P(\mu, \lambda)$, onde o primeiro valor da anotação (μ) representa o grau em que as evidências favoráveis sustentam (crença) a proposição P , e o segundo valor da anotação (λ) representa o grau em que as evidências desfavoráveis negam ou rejeitam (descrença) a proposição P .

Ainda para Da Silva Filho (2013), o reticulado de Hasse com anotação de dois valores será representado por:

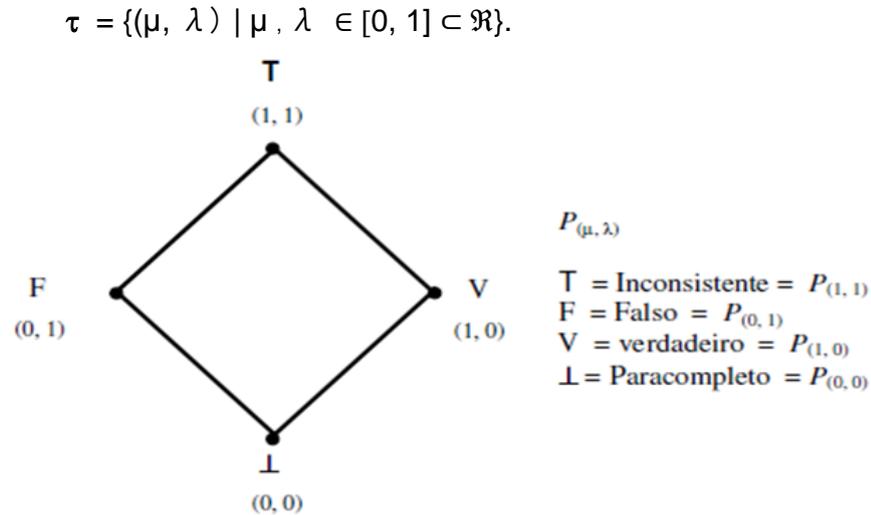


Figura 4- Reticulado LPA2v.

Fonte: DA SILVA FILHO, 2013

Desse modo, é possível observar no reticulado LPA2v, demonstrado na Figura 4 as seguintes anotações sobre uma proposição $P(\mu, \lambda)$:

(1,0) – indicando a “existência de evidência favorável total e evidência desfavorável nula” - atribui à proposição uma leitura que P é verdadeira.

(0,1) – indicando a “existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável total” - atribui à proposição uma leitura que P é falsa.

(1,1) – indicando a “existência de evidência favorável total e evidência desfavorável total” - atribui à proposição uma leitura que P é inconsistente.

(0,0) – indicando a “existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável nula” - atribui à proposição uma leitura que P é paracompleta ou indeterminada.

Em seus estudos de Da Silva Filho (1999), comenta que uma relevante propriedade da lógica LPA2v é que podem ser consideradas equivalentes as proposições $\neg P(\mu, \lambda)$ e $P(\lambda, \mu)$, pois a negação de $P(\mu, \lambda)$ é a mesma proposição P com graus de evidência invertidos (ABE & DA SILVA FILHO, 2000). Logo, em uma análise paraconsistente na LPA2v, cada anotação é interpretada como evidência, que podem ser contraditórias em sua origem (DA SILVA FILHO, 1999). Sendo assim, para facilitar as tomadas de decisões, um

sistema projetado com a LPA2v possibilita receber esse tipo de informação, ou seja, essas evidências em forma de graus de evidência favorável e evidência desfavorável e, após análise devolver um estado lógico resultante, que possibilitará uma conclusão.

O estado lógico de saída é obtido através do equacionamento entre os dois valores evidenciais que compõem a anotação (μ, λ) , onde μ é o grau de evidência favorável atribuído à proposição e λ o grau de evidência desfavorável atribuído à proposição. Essas informações são consideradas valores de entrada do sistema e os valores lógicos representados nos vértices e regiões internas do reticulado são as saídas resultantes da análise paraconsistente. É importante observar que os sinais que representam os valores de inconsistência, como também os valores paracompletos, devem ser levados em conta nos diversos trabalhos que utilizam LPA2v para as suas conclusões.

No caso de um alto grau de contradição, o sistema poderá solicitar mais informações e, à medida que vão sendo analisadas novas evidências, poderão diminuir as contradições, fazendo com que seja possível chegar a uma conclusão mais acertada (ABE & DA SILVA FILHO, 2000). Esse processo pode ser representado de acordo com a Figura 5, abaixo. Os sinais de entrada μ e λ fornecem informações para a Análise Paraconsistente LPA2v, permitindo extrair como saída o Estado Lógico da Análise Paraconsistente.

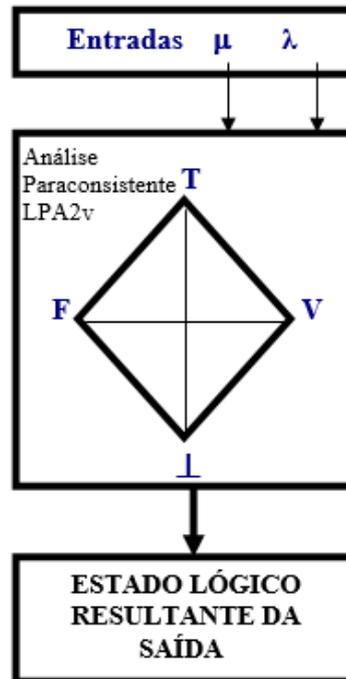


Figura 5 - Representação da análise paraconsistente.

Fonte: ABE & DA SILVA FILHO, 2000

Segundo Da Silva Filho (2013), os valores de entrada (μ e λ), anotados em forma de evidências são expostos em um Quadro Unitário no Plano Cartesiano – QUPC (Figura 6) e podem ser equacionados gerando graus de certeza “Gc” e graus de contradição “Gct” representados nos eixos x e y, respectivamente, do Reticulado da LPA2v e com valores variando entre -1 e 1, conforme descritos nos itens “a” e “b” abaixo.

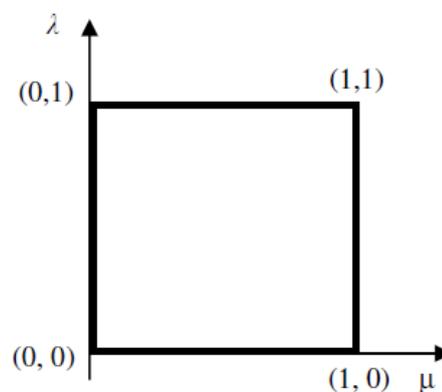


Figura 6 - Quadro unitário no plano cartesiano – QUPC.

Fonte: DA SILVA FILHO, 2013

a) Grau de Certeza – Gc:

$$Gc = \mu - \lambda$$

b) Grau de Contradição – Gct:

$$Gct = \mu + \lambda - 1$$

1.5.6 Nó da Análise Paraconsistente- NAP

Das equações da LPA2v, são extraídos algoritmos para tratamento e análise de sinais de informações aplicados na forma dos graus de evidência. Nesta Dissertação os procedimentos relacionados ao tratamento lógico Paraconsistente estarão relacionados à análise efetuada por um algoritmo denominado NAP (Nó da Análise Paraconsistente) (DA SILVA FILHO, J, I., et al., 2007), representado conforme a figura 7, abaixo:

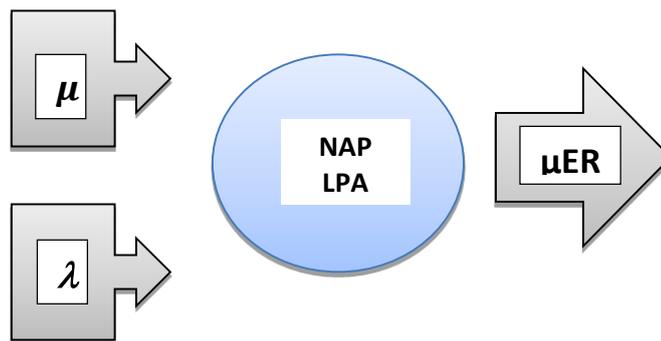


Figura 7 - Estrutura do NAP - Nó da Análise Paraconsistente.

Fonte: DA SILVA FILHO, 2007

Na figura 7 é possível observar que 2 valores são utilizados como sinais de entrada, respectivamente μ e λ , sendo a saída representada por μER , a Evidência resultante.

Será utilizado uma rede de NAP's para obter-se os valores referentes a evidência real, no cálculo do índice de detecção prévia.

Detalhes do algoritmo NAP podem ser encontrados nas referencias Bibliográficas mais precisamente em Da Silva Filho et al., 2007, onde denomina como "Eixo dos Graus de Certeza", cuja resultante para cada saída dos Nós paraconsistentes deve estar no intervalo $0 \leq \mu \leq 1$.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é sondar as várias maneiras de se prevenir falhas em sistemas de informação, implementados na área industrial, bem como sugerir uma metodologia de prevenção utilizando para tal a ferramenta *FMEA* (*Failure Mode and effect analysis*), que juntamente com a Lógica Paraconsistente Anotado em 2 valores (LPA2v) – usada especialmente para reduzir a subjetividade do indicador da detecção da falha – permitem maior exatidão, aumentando o grau de certeza e por sua vez, minimizando o grau de incerteza onde necessário.

A aplicação das duas ferramentas, concomitantemente, proporciona obter benefícios, evitando retrabalhos com correções, tornando as falhas previsíveis cada vez mais cedo. Isso só é possível através da adaptação das tabelas de Severidade, Ocorrência e Detecção, necessárias para determinar o Número Potencial de Risco (NPR), presente na *FMEA*, nos sistemas de controle de produção e de processos de automação, desenvolvidos pelas equipes de Tecnologia da Informação e Tecnologia da Automação, nos seus diferentes níveis.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A empresa locus da presente pesquisa de estudo é uma companhia do ramo industrial, fornecedora de material para cadeia de suprimentos automobilísticos.

Uma base de dados sobre paradas operacionais, cuja responsabilidade foi debitada para as áreas de TI e TA foi utilizada para este trabalho. Esses dados foram coletados em um período de 6 anos, de 2007 a 2012. Contém informações sobre os motivos das paradas, bem como suas naturezas, tempo de inoperância e, com base nisso, foi elaborada inicialmente a *FMEA* em alguns equipamentos, obtendo-se através do NPR os riscos onde o referido equipamento está vulnerável.

Foram desenvolvidos módulos computacionais para que se obtenha, em tempo real, os eventos de paradas operacionais nos equipamentos que contemplam as diferentes Unidades Produtivas, denominadas Linhas de Produção, para identificar o break down ocorrido por mais de 5 minutos nestes equipamentos, visto que em paradas operacionais, cuja inoperância seja inferior a este tempo, não se caracteriza “Parada de Produção” e sim “Quebra de Ritmo”.

Os dados relativos a parada são transmitidos automaticamente para nível corporativo superior, em sistema de gestão, para que as devidas informações possam ser interpretadas. Quanto aos materiais, podemos caracterizá-los como sendo no nível de informações armazenadas, modeladas no item posterior, para se obter uma base de conhecimento e agilizar a tomada de decisões em ambiente de Banco de Dados Oracle nos diversos servidores da empresa e em sistemas de controle de processos no ambiente de automação.

Por meio do tratamento das informações de paradas operacionais, em caráter de “Emergência” contidas no referido banco de dados e utilizando-se um modelo baseado na Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2V), pretende-se conseguir uma melhoria nas detecções das Falhas de Produção causados pela TI/TA.

Pretende-se, com uso da LPA2v, obter maior confiabilidade, ao detectar-se as falhas geradas pela TI /TA previamente e, com isso, permitir o aumento da disponibilidade dos equipamentos estudados.

3.1 Modelagem do Banco de Dados

Para a construção do modelo que permitisse esse estudo foi utilizado um banco de dados SQL Server, cujos dados sobre paradas operacionais estão armazenados contendo informações sobre a natureza das paradas, bem como as causas raiz. Com base nestes dados foram elaboradas FMEA's adaptadas pelo autor em algumas linhas de produção e seus equipamentos.

No período de 2007 a 2012 percebeu-se que as falhas ocasionando paradas operacionais nos equipamentos do processo produtivo cuja responsabilidade tenha sido causada pela TI/TA aumentava a cada ano, pois cada vez mais essas áreas proporcionam apoio e suporte nas unidades produtivas. Isto pode ser percebido no gráfico 1, no item 4.1.1 deste trabalho. As falhas operacionais em caráter emergencial foram estudadas através da análise da causa raiz 6M: Meio-Ambiente, Matéria-Prima, Método, Métrica, Mão-de-Obra e Máquina. Sendo a que mais destacou foi a falha causada por Mão-de-Obra. No mesmo período oscilavam, sendo o ano de 2010 o que mais chamou atenção, passando das 250 horas, quando houve uma grande rotatividade no quadro funcional, sem a devida reciclagem nos sistemas que operavam. Isso foi corrigido, mas ainda a quantidade de horas atingidas era muito grande.

Várias falhas foram obtidas, sendo tabuladas as que maior deram impactos em termos de horas de inoperância operacional, como: “Aplicações não testadas devidamente”, principalmente após manutenções efetuadas em operações; “Má gestão nas Mudanças”; “Sobrecarga de Processamento”; “Procedimentos desatualizados”; “Problemas na comunicação de dados”; “Segurança de informações”; “Rotinas de Backups”; “Adivinhas em bases de dados”; “Integração entre os sistemas de chão de fábrica na automação com sistemas corporativos”; dentre outros.

Ao perceber a necessidade de se reduzir a situação incômoda que as áreas de TI/TA, mapeando os riscos, estudou-se a *FMEA* como uma ferramenta para detectar falhas mais cedo e, ao final de 2012, implantou-se a referida ferramenta nas 5 unidades produtivas mais críticas, sendo o resultado verificado também na Tabela 7, no período de 2013 e 2014. Com o uso desta técnica, já se percebeu uma melhoria, uma vez que as ocorrências foram diminuindo, mas ainda não sendo suficiente. Era preciso ter uma melhor forma de detectar a índice de

detecção. A LPA2v, foi estudada para se ter maior precisão.

3.2 Adaptação das tabelas da *FMEA* (severidade, ocorrência e detecção)

Para elaborar este trabalho foi necessário adaptar as tabelas usadas na *FMEA* para que a abordagem das falhas referentes aos processos de TI / TA, nas atividades de produção na indústria, tivessem critérios específicos.

No Quadro 4, está classificada sobre os efeitos da severidade e quais critérios, percebendo-se que o menor valor, índice 1, cujo efeito não é perceptível ao Usuário de TI/TA. Da mesma forma, a de maior valor, índice 10, a falha permite que o efeito sentido tem a caracterização de ser Perigosa, com parada de produção com risco de segurança física ao operador, bem como quebra de equipamentos do processo industrial, causando perda de produção e afetando, por sua vez os custos operacionais.

Quadro 4 - Tabela de severidade adaptada da FMEA

Efeito	Critério	Classe
Perigosa com parada de Produção com Risco de Segurança	Provocando parada na produção com risco de segurança (vida humana) ou com Risco de Quebra de Equipamentos do Processo Industrial, causando perda de produção e afetando custos operacionais	10
Perigosa com parada de Equipamentos com perda de Produção Grave	Provocando parada na produção de Equipamentos no Processo Industrial, causando perda de produção (afetando custos operacionais) por mais de 60 minutos, inclusive.	9
Perigosa com parada de Equipamentos com perda de Produção Alta	Provocando parada na produção de Equipamentos no Processo Industrial, causando perda de produção, abaixo de 60 minutos	8
Muito Alta	Não causa parada de produção, mas causa a indisponibilidade de recursos de TI/TA, por um tempo muito alto (igual ou superior a 60 minutos)	7
Alta	Não causa parada de produção, mas causa a indisponibilidade de recursos de TI/TA, por um tempo alto (entre 30 e 59 minutos)	6
Moderada	Não causa parada de produção, mas causa a indisponibilidade de recursos de TI/TA, por um tempo moderado (entre 15 e 29 minutos)	5
Baixa	Não causa parada de produção, mas causa a indisponibilidade de recursos de TI/TA, por um tempo baixo (entre 5 e 14 minutos)	4
Praticamente desprezível	Perceptível pelo usuário, porém permite operar sem prejuízo a curto prazo (inferior a 5 minutos)	3
Desprezível	Perceptível pelo usuário, porém permite operar sem prejuízo algum	2
Nenhuma	Não perceptível pelo usuário	1

Fonte: Elaborada pelo autor

Dessa forma é possível perceber que se uma determinada falha ocorrer, cuja responsabilidade seja da Tecnologia de Informação e/ou da Tecnologia da Automação, tenha causada uma inoperância em um determinado equipamento no processo industrial por mais de 60 minutos, causando perda de produção e desta forma, afetando custos operacionais, será atribuída a classe 9. Por sua vez, outros valores referentes aos efeitos, conforme o critério de classificação, obtido em consenso, os valores da classe serão tabulados. Nas situações onde os valores são baixos, as falhas as vezes são imperceptíveis ou mesmo nem causam transtornos operacionais.

O Quadro 5, ilustra a probabilidade da falha ocorrer, classificando-se de 1 a 10, sendo que o índice relativo a classe 1 é a situação onde num período mensal não há registros de falhas, cuja responsabilidade tenha sido a TI ou a TA. Já a pior situação, “Excessivamente Alta”, com índice 10, está classificada para situações que tenham mais de 20 eventos de falhas ou defeitos, num período mensal pré-definido. Este quadro demonstra, através de estudo estatísticos, a probabilidade das falhas ocorrerem, dentro de faixas de incidências das falhas.

Quadro 5 - Tabela de ocorrência adaptada da FMEA

Probabilidade	Taxa de Falha	Classe
Excessivamente Alta	Acima de 20 eventos de falha ou defeito por período mensal	10
Excessiva	De 16 a 20 eventos de falha ou defeito por período mensal	9
Muito Alta	De 12 a 15 eventos de falha ou defeito por período mensal	8
Alta	De 10 a 11 eventos de falha ou defeito por período mensal	7
Moderada Alta	De 8 a 9 eventos de falha ou defeito por período mensal	6
Moderada	De 6 a 7 eventos de falha ou defeito por período mensal	5
Moderada Baixa	De 4 a 5 eventos de falha ou defeito por período mensal	4
Baixa	De 2 a 3 eventos de falha ou defeito por período mensal	3
Muito Baixa	Somente 1 evento de falha ou defeito por período mensal	2
Sem falhas	Não há evento de falhas registros no período mensal	1

Fonte: Elaborada pelo autor

Portanto, neste Quadro 5, percebe-se que a probabilidade está associada a uma respectiva classe. Se a classe é alta, conclui-se que os eventos num período mensal estão altos. Por sua vez, classes com valores baixos significam incidências baixas ou mesmo nenhuma num mesmo determinado período.

O Quadro 6, que trata da detecção das falhas, ou seja como podem ser identificadas antes que aconteçam antecipadamente, foi formatada com base nos resultados da Análise Paraconsistente Blocos da LPA2v, de acordo com a estrutura apresentada no referido trabalho.

Quadro 6 - Tabela de detecção das falhas adaptada da FMEA

Probabilidade de Detecção	Critério	Classe
Quase Impossível	Impossível de ser detectado com ou sem aviso prévio ou sem inspeções em qualquer período	10
Muito Remota	Impossível de ser detectada com inspeção visual em qualquer período	9
Remota	Muito difícil de ser detectada com inspeção visual semanal (1 inspeção por semana)	8
Muito Baixa	Muito difícil de ser detectada com inspeção semanal (de 2 a 3 inspeções semanais)	7
Baixa	Difícil de ser detectado com inspeções regulares (mais de 4 inspeções por semana)	6
Moderadamente	Detecção de nível médio (mais de 1 inspeção diária)	5
Moderadamente Alta	Detecção de nível médio com aviso prévio superior a 1 dia ou inspeções visuais diárias	4
Alta	Facilmente será detectada com aviso prévio com inspeções	3
Muito Alta	Facilmente será detectada previamente com necessidades de inspeções visuais ou aviso prévio de 1 a 2 dias)	2
Quase Certamente	Facilmente será detectado previamente (com aviso prévio superior a 2 dias)	1

Fonte: Elaborada pelo autor

Os valores referentes a classe descrita no quadro 6, seguem os mesmos critérios das tabelas anteriores, de Severidade das falhas e seus efeitos e de Probabilidade de suas Ocorrências, sempre classificando da situação mais fácil até a mais difícil, ou seja de 1 a 10, sendo a de valor 1, neste caso é Quase Certamente, ou seja, o critério para esta classificação é que facilmente a falha será detectada previamente e, para este caso, adotou-se 2 ou mais dias de antecedência). Já a de valor 10, Quase Impossível e o critério desta classificação é que a falha será impossível de ser detectada com ou sem aviso prévio, ou mesmo sem inspeções, independente de período prévio. Os valores obtidos, serão, então, utilizados com base nos conceitos da LPA2v.

3.3 Natureza das Falhas

O terceiro passo na elaboração da *FMEA* é a identificação do modo de falha e como proposto, através das adaptações da *FMEA* de processos, é possível classificar a Natureza das falhas, conforme descrito no quadro abaixo, identificando os diferentes tipos que englobam as falhas dos processos em geral.

Quadro 7 - Natureza das falhas, adaptadas da FMEA de processos

Natureza das Falhas	Características
Total	Inoperância total do recurso (Produto ou Processo)
Parcial	Inoperância parcial do recurso (Produto ou processo)
Intermitente	Operacionalidade do Recurso ora acontece ora não, causando falhas
Demasiadamente	Operação do Recurso trabalha em demasia, podendo gerar falhas
Degradativamente	Falha acontece por degradação do Recurso, muitas vezes causadas pelo meio ambiente

Adaptada pe autor.

Fonte: Manual de FMEA–AIAG, 3º edição, 2001

O Quadro 7, que trata da Natureza das falhas, segue os padrões adotados no Manual da elaboração da FMEA, conforme as suas características.

3.4 Causa Raiz das Falhas (6M)

Em sua estrutura, as prováveis causas dos problemas (efeitos) podem ser classificadas como sendo de seis tipos diferentes quando aplicada a metodologia 6M. Originalmente proposto pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa, professor da Universidade de Tóquio, em 1943 e aperfeiçoado nos anos seguintes (FARIA, 2012).

O Diagrama de causa e efeito. Também recebe o nome de diagrama de Ishikawa, em homenagem ao seu criador. O seu objetivo deste diagrama é facilitar a identificação da causa raiz de problemas que devem ser solucionados ou mesmo os fatores gerados por falhas. Podem ser representados de forma gráfica, conforme representado na Figura 8 (FARIA, 2012).

Este diagrama tem um formato de um peixe, por isso também é chamado de diagrama “espinha de peixe” (FARIA, 2012).

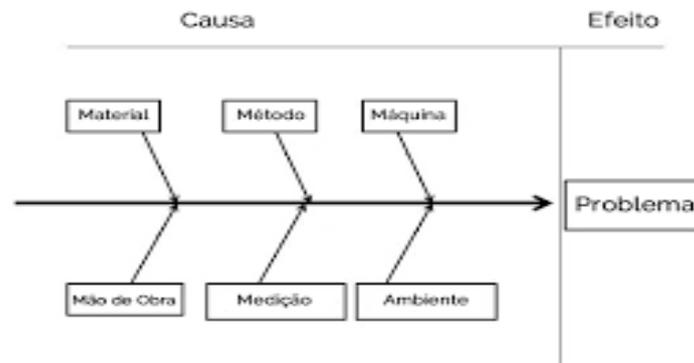


Figura 8 - Diagrama de Ishikawa (ou causa e efeito)

Fonte: Diagrama de Ishikawa, Campos (1999). Adaptado pelo autor.

De acordo com Faria, (2012) para elaborar o diagrama, Ishikawa definiu as chamadas causas principais de qualquer problema, que também são chamadas de 6 M's: mão de obra, materiais, máquinas, métodos, meio ambiente e medição. No quadro 8 estão descritas as características de cada uma delas.

Quadro 8 - 6 M – Causa Raiz das falhas.

Descrição da Causa Raiz	Características
Matéria-Prima	Toda causa que envolve o material que estava sendo utilizado no trabalho
Método	Toda causa que envolve o método que estava sendo utilizado no trabalho
Mão-de-Obra	Toda causa que envolve uma atitude do colaborador (ex: procedimento inadequado, pressa, imprudência, ato inseguro, etc.)
Métrica	Toda causa que envolve os instrumentos de medida, sua calibração, a efetividade de indicadores em mostrar as variações de resultado, se o acompanhamento está sendo realizado, se ocorre na frequência necessária, etc
Meio-Ambiente	Toda causa que envolve o meio ambiente em si (poluição, calor, poeira, etc.) e, o ambiente de trabalho (layout, falta de espaço, dimensionamento inadequado dos equipamentos, etc)
Máquina	Toda causa envolvendo o Equipamento e suas respectivas máquinas que estavam sendo operadas no momento que ocorreu a falha.

Adaptada pelo autor.

Fonte: Diagrama de Ishikawa – Campos, 1999

3.5 Considerações sobre os itens a serem utilizados nas proposições de detecção.

Para mapeamento da detecção, utilizando a Lógica Paraconsistente foi utilizado o critério descrito abaixo, identificando a relevância no tocante a viabilidade do tema proposto, através de um questionário aplicado a 100 profissionais (Analistas de Informática e Automação e Analistas de Qualidade, especialistas em FMEA de

Processos), para atribuir a referida relevância entre a Natureza das Falhas e as causas raízes das falhas registradas, criando-se assim, um método para novas falhas, ainda não catalogadas.

3.5.1 Coleta de dados e *FMEA*

Para o presente trabalho foi necessário elaborar proposições, conforme visto na LPA2v, onde através de questionamentos, obter os valores da relevância da falha, com relação a detecção antecipada da falha. Isso pode ser observado no item 3.8, deste trabalho, que trata do Estudo de Caso para formatação da *FMEA*, utilizando a LPA2v na obtenção do índice de detecção das falhas, num processo de um torno que utilize controle numérico e computadorizado (CNC).

Para tanto, foi elaborado um questionamento para 100 profissionais das diversas áreas: Engenharia de Produto, Engenharia de Processos de diversos equipamentos, Garantia e Controle da Qualidade e ainda os que atuam diretamente à Computação, os Profissionais de TI e Automação, respondendo a significância em se detectar ou não falhas em de Sistemas de informação nos processos de torneamento de peças.

Utilizando as Naturezas das Falhas, observadas no Quadro 7 e os conceitos abordados sobre a identificação da Causa Raiz, demonstrado no Quadro 8, foi elaborado os referidos questionários, observados no quadro 9, para que, mesmo sem a identificação entre os entrevistados, pudessem opinar sobre a certeza ou não na identificação prévia da falha.

Quadro 9 - Propostas de questionários (Relevância da falha)

Natureza das Falhas	Responsabilidades	Relevância		
	Causa Raiz (6 M)	Sim	Não	Não Sei
Total (T)	Matéria Prima (MP)			
Total (T)	Métrica (MT)			
Total (T)	Método (MD)			
Total (T)	Máquina (MQ)			
Total (T)	Meio-Ambiente (MA)			
Total (T)	Mão-de-Obra (MO)			
Parcial (P)	Matéria Prima (MP)			

Parcial (P)	Métrica (MT)			
Parcial (P)	Método (MD)			
Parcial (P)	Máquina (MQ)			
Parcial (P)	Meio-Ambiente (MA)			
Parcial (P)	Mão-de-Obra (MO)			
Intermitente (I)	Matéria Prima (MP)			
Intermitente (I)	Métrica (MT)			
Intermitente (I)	Método (MD)			
Intermitente (I)	Máquina (MQ)			
Intermitente (I)	Meio-Ambiente (MA)			
Intermitente (I)	Mão-de-Obra (MO)			
Demasiadamente (D)	Matéria Prima (MP)			
Demasiadamente (D)	Métrica (MT)			
Demasiadamente (D)	Método (MD)			
Demasiadamente (D)	Máquina (MQ)			
Demasiadamente (D)	Meio-Ambiente (MA)			
Demasiadamente (D)	Mão-de-Obra (MO)			
Degradativamente (G)	Matéria Prima (MP)			
Degradativamente (G)	Métrica (MT)			
Degradativamente (G)	Método (MD)			
Degradativamente (G)	Máquina (MQ)			
Degradativamente (G)	Meio-Ambiente (MA)			
Degradativamente (G)	Mão-de-Obra (MO)			

Fonte: Elaborada pelo autor.

Desta forma, para falha, cuja natureza seja inoperância total, causado por matéria prima, indique com um “X” para as seguintes relevâncias:

- Sim – Certamente será muito difícil a sua detecção;
- Não – Certamente será detectada com facilidade;
- Não Sei – O entrevistado não tem a certeza da detecção prévia;
- Sim e/ou Não – Certeza ou não na detecção, dependendo de fatores, irrelevantes para a pesquisa.

Dessa forma, os valores foram colhidos e demonstrados na Tabela 1, observada adiante.

3.6 Formatação das Respostas sobre os 100 Especialistas questionados

Foram feitos questionários sobre a opinião dos especialistas com relação a falhas, conforme a sua natureza (Total, Parcial, Intermitente, Demasiadamente e Degradativamente) de acordo com a análise da causa raiz (Matéria Prima; Métrica; Método; Meio-ambiente; Máquina e Mão-de-obra). Como exemplo:

Para uma Falha Total, cuja causa raiz tenha sido a Matéria-Prima, podemos ter dificuldades de detecção previamente, sem recursos tecnológicos:

(V) Verdadeiro, teremos dificuldade, certamente não detectaremos

(F) Falso, não teremos dificuldades, detectaremos com certeza

Não sei se teremos dificuldade. Não consigo determinar esta situação

Sim e Não. Poderemos conseguir ou não detectar previamente.

As questões foram enviadas, durante o experimento do estudo de caso, descrito no item 3.8 deste trabalho, somente para um único processo (usinagem em torno CNC), elencando potenciais falhas, para profissionais de Tecnologia da Informação, Tecnologia de Automação, Analistas da Área de Qualidade (Engenheiros de Produto e Engenheiros de Processos e Usuários Chaves de diversas áreas).

Tabela 1 - Questionários da relevância na detecção da falha

Preposição	NAT	6M	SIM(S)	NÃO (N)	Não sei	Sim e Não	Total
1	T	MP	58	14	8	20	100
2	T	MT	20	70	5	5	100
3	T	MD	60	25	15	0	100
4	T	MQ	90	5	2	3	100
5	T	MA	75	15	5	5	100
6	T	MO	84	12	4	0	100
7	P	MP	54	15	10	21	100
8	P	MT	20	80	0	0	100
9	P	MD	60	29	7	4	100
10	P	MQ	95	5	0	0	100
11	P	MA	85	15	0	0	100
12	P	MO	86	9	3	2	100
13	I	MP	84	6	6	4	100
14	I	MT	89	4	2	5	100
15	I	MD	79	4	12	5	100
16	I	MQ	99	0	1	0	100
17	I	MA	70	5	13	12	100
18	I	MO	75	5	16	4	100
19	D	MP	56	4	18	22	100
20	D	MT	2	2	82	14	100
21	D	MD	64	11	15	10	100
22	D	MQ	79	9	0	12	100
23	D	MA	50	10	2	38	100
24	D	MO	70	22	7	1	100
25	G	MP	6	8	42	44	100
26	G	MT	0	0	20	80	100
27	G	MD	2	10	24	64	100
28	G	MQ	100	0	0	0	100
29	G	MA	89	5	2	4	100
30	G	MO	6	89	4	1	100

Fonte: Elaborada pelo autor.

As respostas obtidas foram então tabuladas, conforme Tabela 1. Os valores estão expressos em quantidades.

3.6.1 Proposições de detecção

Conforme as respostas obtidas nos questionários submetidos, pode-se avaliar os resultados das proposições, com base nos conhecimentos da estatística descritiva, utilizando a dados da densidade de frequências e frequência relativa, determinou-se então os Graus de Certeza e Graus de Contradição. Dessa forma, esses valores obtidos em cada uma das proposições indicam os valores calculados para o índice referente à detecção das falhas, sendo μ , o Grau de Evidência da Afirmação, portanto, favorável a proposição, λ o Grau de Evidência da Refutação, o μI Grau de Evidência de Indeterminação ou paracompleteza e μT os Graus de Evidencia da Inconsistência.

Portanto, esses valores estarão no reticulado representativo da LPA2v, que é representado por G_c e G_{ct} , na figura 9.

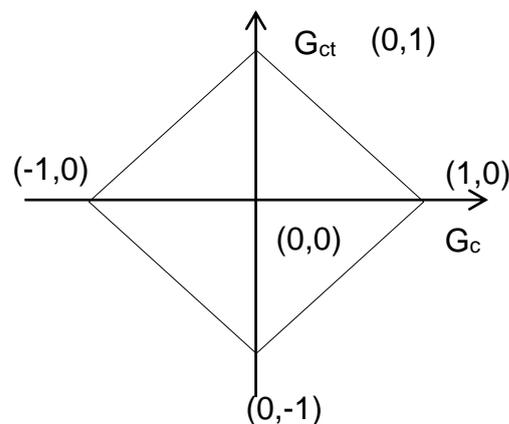


Figura 9 - Reticulado representativo da LPA2v.

Exemplo de cálculo das Proposições:

Proposição 1 (T,MP) : Para falha total, com causa raiz sendo a Matéria Prima

$$\mu_1 = \frac{58}{100} = 0,580 \quad \lambda_1 = \frac{14}{100} = 0,140 \quad \mu I = \frac{8}{100} = 0,080 \quad \mu T = \frac{20}{100} = 0,200$$

Obs: 58 pessoas acham que terão dificuldades na detecção, 14 afirmam que facilmente farão detecção, 8 Não sabem responder e 20 comentam que podem ou não ter a dificuldade.

Proposição 2 (T,MT): Para falha total com causa raiz sendo a Métrica usada no processo

$$\mu_1 = \frac{20}{100} = 0,200 \quad \lambda_1 = \frac{70}{100} = 0,700 \quad \mu_{I1} = \frac{5}{100} = 0,050 \quad \mu_T = \frac{5}{100} = 0,0500$$

Obs: 20 pessoas acham que terão dificuldades na detecção, 70 afirmam que facilmente farão detecção, 5 Não sabem responder e 5 comentam que podem ou não ter a dificuldade.

Proposição 6 (T,MO): Para falha total com causa raiz sendo a Mão de Obra usada no processo

$$\mu_1 = \frac{84}{100} = 0,840 \quad \lambda_1 = \frac{12}{100} = 0,120 \quad \mu_{I1} = \frac{4}{100} = 0,040 \quad \mu_T = \frac{0}{100} = 0,000$$

Obs: 84 pessoas acham que terão dificuldades na detecção, 12 afirmam que facilmente farão detecção e 4 Não sabem responder. Ninguém respondeu “tanto sim como não”.

Conforme descrito nos exemplos acima, para cada proposição, foi formatado na tabela 2 os valores referentes ao grau de evidência da afirmação (μ_1), o grau de evidência da refutação (λ_1), o grau de evidência da indeterminação (μ_{I1}) e o grau de evidência da paracompleteza (μ_T).

Tabela 2 - Proposições com grau de evidência da afirmação e refutação.

Dificuldades para Detectar falhas sem recursos tecnológicos, somente com inspeção visual				
Proposição	μ	λ	μ_I	μ_T
	Verdadeira (Dificuldade de detecção)	Falsa (Facilidade em detecção)	Indeterminação (na Detecção)	Inconsistência (na detecção)
1	0,580	0,140	0,080	0,200
2	0,200	0,700	0,050	0,050
3	0,600	0,250	0,150	0,000
4	0,900	0,050	0,020	0,030
5	0,750	0,150	0,050	0,050
6	0,840	0,120	0,040	0,000
7	0,540	0,150	0,100	0,210
8	0,200	0,800	0,000	0,000
9	0,600	0,290	0,070	0,040
10	0,950	0,050	0,000	0,000
11	0,850	0,150	0,000	0,000
12	0,860	0,090	0,030	0,020
13	0,840	0,060	0,060	0,040
14	0,890	0,040	0,020	0,050
15	0,790	0,040	0,120	0,050
16	0,990	0,000	0,010	0,000
17	0,700	0,050	0,130	0,120
18	0,750	0,050	0,160	0,040
19	0,560	0,040	0,180	0,220
20	0,020	0,020	0,820	0,140
21	0,640	0,110	0,150	0,100
22	0,790	0,090	0,000	0,120
23	0,500	0,100	0,020	0,380
24	0,700	0,220	0,070	0,010
25	0,060	0,080	0,420	0,440
26	0,000	0,000	0,200	0,800
27	0,020	0,100	0,240	0,640
28	1,000	0,000	0,000	0,000
29	0,890	0,050	0,020	0,040
30	0,060	0,890	0,040	0,010

Fonte: Elaborada pelo autor.

Portanto, na referida Tabela 2 estão relacionados os valores calculados, evidenciando o descrito acima, no exemplo de cálculo das proposições.

Após o cálculo de cada proposição, a princípio passou-se a determinar a Evidência Real Resultante, para se obter o índice de detecção. Para tanto, foi necessário seguir os passos abaixo:

1 - Calcular Grau de Certeza (G_c), através da fórmula:

$$G_c = \mu - \lambda \quad (1)$$

2 - Calcular o Grau de Contradição, através da fórmula:

$$G_{ct} = \mu + \lambda - 1 \quad (2)$$

3 - Calcular a distância “d”, do ponto onde se localiza o estado Lógico Paraconsistente ε até a um dos Vértices Extremos do Reticulado na extremidade do eixo de Graus de Certeza, através da fórmula:

$$d = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2} \quad (3)$$

4 - Calcular o valor do Grau de Certeza Real (Gcr) que é determinado pela projeção da distância d sobre o eixo dos graus de certeza, através da fórmula:

$$\text{Se } G_c > 0 \text{ Gcr} = (1-d); \quad \text{Se } G_c < 0 \text{ Gcr} = (d - 1) \quad (4)$$

5 - Calcular o Grau de Evidência Real Resultante, através da fórmula:

$$\mu_{ER} = (G_{cr} + 1) / 2 \quad (5)$$

6 - Determinar o índice de detecção, através do valor obtido em (5) multiplicando-se por 10, usando somente um dígito (valor inteiro) na sua confecção e critérios de arredondamento aritmético padrão, para cada proposição, obtendo-se os valores demonstrados na tabela 3, abaixo:

Tabela 3- Grau de evidência real resultante.

Dificuldades para Detectar falhas sem recursos tecnológicos, somente com inspeção visual						
Proposição	Gc	Get	d	Gcr	μ ER	Índice de detecção da FMEA
	Grau de Certeza (Gc = $\mu - \lambda$)	Grau de Contradição (Get = $\mu + \lambda - 1$)	Distância $d = \sqrt{((1- Gc)^2 + Get^2)}$	Grau de Certeza Real Se GC > 0 GCR = (1-d); Se GC < 0 GCR = (d - 1)	Grau de Evidência Real Resultante $\mu ER = (Gcr + 1) / 2$	
1	0,440000	-0,280000	0,940638	0,059362	0,529681	5
2	-0,500000	-0,100000	0,871780	-0,128220	0,435890	4
3	0,350000	-0,150000	0,948683	0,051317	0,525658	5
4	0,850000	-0,050000	0,529150	0,470850	0,735425	7
5	0,600000	-0,100000	0,806226	0,193774	0,596887	6
6	0,720000	-0,040000	0,695126	0,304874	0,652437	7
7	0,390000	-0,310000	0,971597	0,028403	0,514202	5
8	-0,600000	0,000000	0,800000	-0,200000	0,400000	4
9	0,310000	-0,110000	0,957079	0,042921	0,521461	5
10	0,900000	0,000000	0,435890	0,564110	0,782055	8
11	0,700000	0,000000	0,714143	0,285857	0,642929	6
12	0,770000	-0,050000	0,640000	0,360000	0,680000	7
13	0,780000	-0,100000	0,633719	0,366281	0,683140	7
14	0,850000	-0,070000	0,531413	0,468587	0,734293	7
15	0,750000	-0,170000	0,682935	0,317065	0,658533	7
16	0,990000	-0,010000	0,141421	0,858579	0,929289	9
17	0,650000	-0,250000	0,800000	0,200000	0,600000	6
18	0,700000	-0,200000	0,741620	0,258380	0,629190	6
19	0,520000	-0,400000	0,943186	0,056814	0,528407	5
20	0,000000	-0,960000	1,386218	0,386218	0,693109	7
21	0,530000	-0,250000	0,884081	0,115919	0,557959	6
22	0,700000	-0,120000	0,724155	0,275845	0,637923	6
23	0,400000	-0,400000	1,000000	0,000000	0,500000	5
24	0,480000	-0,080000	0,880909	0,119091	0,559546	6
25	-0,020000	-0,860000	1,318787	0,318787	0,659394	7
26	0,000000	-1,000000	1,414214	0,414214	0,707107	7
27	-0,080000	-0,880000	1,329662	0,329662	0,664831	7
28	1,000000	0,000000	0,000000	1,000000	1,000000	10
29	0,840000	-0,060000	0,545894	0,454106	0,727053	7
30	-0,830000	-0,050000	0,560000	-0,440000	0,280000	3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Percebeu-se que desta forma, seria necessário levar em conta os valores obtidos nas proposições utilizando também os valores paracompletos e paraconsistentes, que agregados aos valores de Verdadeiro e Falso, poderiam levar a resultados mais precisos. Desta forma, foram utilizados Blocos da Análise Paraconsistente Anotada com anotação de 2 valores.

3.7 Arquitetura dos Blocos da Análise Paraconsistente Anotada com anotação de 2 valores – Blocos da LPA2v

Para se considerar os Blocos da Análise Paraconsistente na arquitetura

apresentada na Figura 10, o Grau de Evidência favorável, no intervalo $0 \leq \mu \leq 1$, é representado como μ . Da mesma forma o Grau de Evidência desfavorável estabelecido no mesmo intervalo de $0 \leq \lambda \leq 1$, é representado como λ .

Para o estudo aplicado neste trabalho, inicialmente propomos a criação de blocos da Análise Paraconsistente, considerando-se as situações que pudessem negar a proposição, cujo objetivo é valorar a dificuldade em identificar previamente a detecção de falhas. Quando se tem a certeza que a falha dificilmente ou mesmo impossível de se detectar então está considerado na proposição como verdadeira (V). Da mesma forma, quando se tem a certeza na detecção, está considerado como falsa a proposição (F). Tanto os valores inconsistentes (μ_I) como indeterminados (μ_T) foram considerados como também possíveis negações da verdade da proposição. Portanto ao estruturarmos os Blocos da LPA2v optou-se em se obter valores que possam impactar a evidência real da referida dificuldade, como explicado a seguir:

1. O Bloco 1 da Figura 10 é responsável por quantificar inconsistências e indeterminações originadas pelas opiniões dos usuários. Para este bloco, os valores Inconsistentes (pode ou não detectar) e Indeterminados (Não sabe se pode detectar a falha) e seu complemento para 1 foram usados como sinais de entrada, sendo a resultante o sinal de entrada para o bloco 2. Portanto o Grau de Evidência Resultante foi calculado através da equação 6:

$$\mu_{ER} = \frac{GCR+1}{2}$$

portanto:

$$\mu_{ER1} = \frac{(\mu_I - (1 - \mu_T)) + 1}{2} \quad (6)$$

2. O Bloco 2, demonstrado na Figura 10 é responsável por quantificar os valores obtidos como Falso, bem como a evidência resultante do bloco 1, originadas pelas opiniões dos usuários. Portanto, neste bloco 2, os valores na proposição que indicam Falso, ou seja, facilmente detectarão a falha, mais a resultante do bloco anterior, serão os sinais de entrada. A resultante do bloco 2, entrará como sinal no próximo e ultimo bloco. Sendo o Grau da Evidência Resultante dado por $\mu_{ER} = \frac{GCR+1}{2}$. Então o algoritmo utilizado é verificado na equação 7:

$$\mu_{ER2} = \frac{(\mu - \lambda) + 1}{2}$$

portanto:

$$\mu_{ER2} = \frac{(\mu - \mu_{ER1}) + 1}{2}$$

então:
$$\mu_{ER2} = \frac{(F - (\mu \text{ I T}) + 1)}{2} \quad (7)$$

3. O Bloco 3 da Figura 10 é encarregado por quantificar os valores obtidos como Verdadeiro, juntamente com a evidência resultante do bloco 2, originadas pelas opiniões dos usuários envolvidos. Desta forma, para este bloco, os valores na proposição que indicam serem verdadeiros, ou seja, com certeza as falhas dificilmente serão detectadas antecipadamente, entram juntamente com a resultante do bloco anterior. A resultante será a evidência real desta rede de Blocos Sendo o Grau da Evidência Resultante, demonstrado na equação 8, dado por:

$$\mu_{ER} = \frac{GCR+1}{2}, \text{ então o algoritmo utilizado foi:}$$

$$\mu_{ER3} = \frac{(\mu - \lambda) + 1}{2}$$

portanto:
$$\mu_{ER3} = \frac{(\mu - \mu_{ER2}) + 1}{2}$$

então:
$$\mu_{ER3} = \frac{(V - (\mu \text{ I T e F}) + 1)}{2} \quad (8)$$

Este é portanto a resultante da análise da proposição inicial na equação 8, demonstrada na Figura 10.

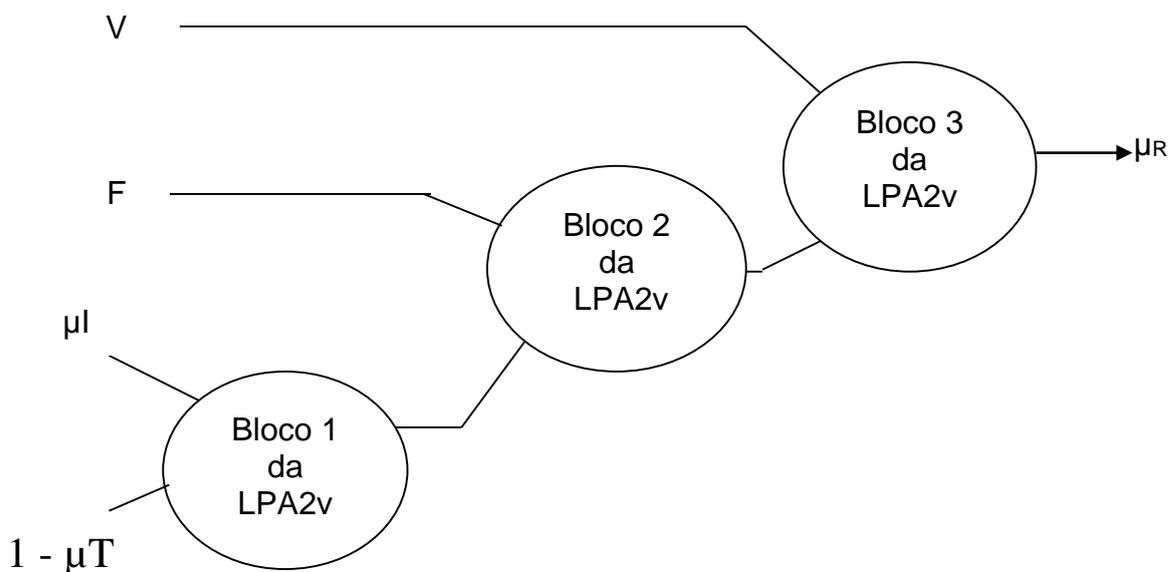


Figura 10- Bloco de análise paraconsistente anotada com anotação de 2 valores – proposta inicial.

Ao aplicar esta arquitetura, para cada proposição observada nas Tabela 1 e 2, obtêm-se os resultados mostrados na tabela 4, abaixo.

Tabela 4- Blocos utilizados inicialmente na arquitetura.

Arquitetura inicial da Aplicação Paraconsistente utilizando Blocos da LPA2v								
Proposição	Verdadeiro	Falso	Indeterminado	Inconsistente	Bloco 1		Bloco 2	Análise da Proposição Bloco 3
	μ	λ	μI	μT	$1 - \mu T$	$\mu I T$	$\mu I T e F$	
1	0,58	0,14	0,08	0,20	0,80	0,14	0,50	0,54
2	0,20	0,70	0,05	0,05	0,95	0,05	0,83	0,19
3	0,60	0,25	0,15	0,00	1,00	0,08	0,59	0,51
4	0,90	0,05	0,02	0,03	0,97	0,03	0,51	0,69
5	0,75	0,15	0,05	0,05	0,95	0,05	0,55	0,60
6	0,84	0,12	0,04	0,00	1,00	0,02	0,55	0,65
7	0,54	0,15	0,10	0,21	0,79	0,16	0,50	0,52
8	0,20	0,80	0,00	0,00	1,00	0,00	0,90	0,15
9	0,60	0,29	0,07	0,04	0,96	0,06	0,62	0,49
10	0,95	0,05	0,00	0,00	1,00	0,00	0,53	0,71
11	0,85	0,15	0,00	0,00	1,00	0,00	0,58	0,64
12	0,86	0,09	0,03	0,02	0,98	0,03	0,53	0,66
13	0,84	0,06	0,06	0,04	0,96	0,05	0,51	0,67
14	0,89	0,04	0,02	0,05	0,95	0,04	0,50	0,69
15	0,79	0,04	0,12	0,05	0,95	0,09	0,48	0,66
16	0,99	0,00	0,01	0,00	1,00	0,01	0,50	0,75
17	0,70	0,05	0,13	0,12	0,88	0,13	0,46	0,62
18	0,75	0,05	0,16	0,04	0,96	0,10	0,48	0,64
19	0,56	0,04	0,18	0,22	0,78	0,20	0,42	0,57
20	0,02	0,02	0,82	0,14	0,86	0,48	0,27	0,38
21	0,64	0,11	0,15	0,10	0,90	0,13	0,49	0,57
22	0,79	0,09	0,00	0,12	0,88	0,06	0,52	0,64
23	0,50	0,10	0,02	0,38	0,62	0,20	0,45	0,53
24	0,70	0,22	0,07	0,01	0,99	0,04	0,59	0,56
25	0,06	0,08	0,42	0,44	0,56	0,43	0,33	0,37
26	0,00	0,00	0,20	0,80	0,20	0,50	0,25	0,38
27	0,02	0,10	0,24	0,64	0,36	0,44	0,33	0,35
28	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	0,75
29	0,89	0,05	0,02	0,04	0,96	0,03	0,51	0,69
30	0,06	0,89	0,04	0,01	0,99	0,03	0,93	0,06

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados da Tabela 4 devem ser ajustados para que quando 100% das opções forem verdadeiras, a evidência real tenha valor 1,00. Tal discrepância pode ser observada na proposição 28, onde todas as opções são verdadeiras (certeza que a falha não será detectada antecipadamente) e a evidência real na análise da proposição é 0,75. Para corrigir esta discrepância foi adicionado um bloco de ajuste que multiplica a evidência real pelo valor de 1,33334 (1 / 0,75).

A Figura 11 mostra a arquitetura de rede com o incremento do bloco de ajuste.

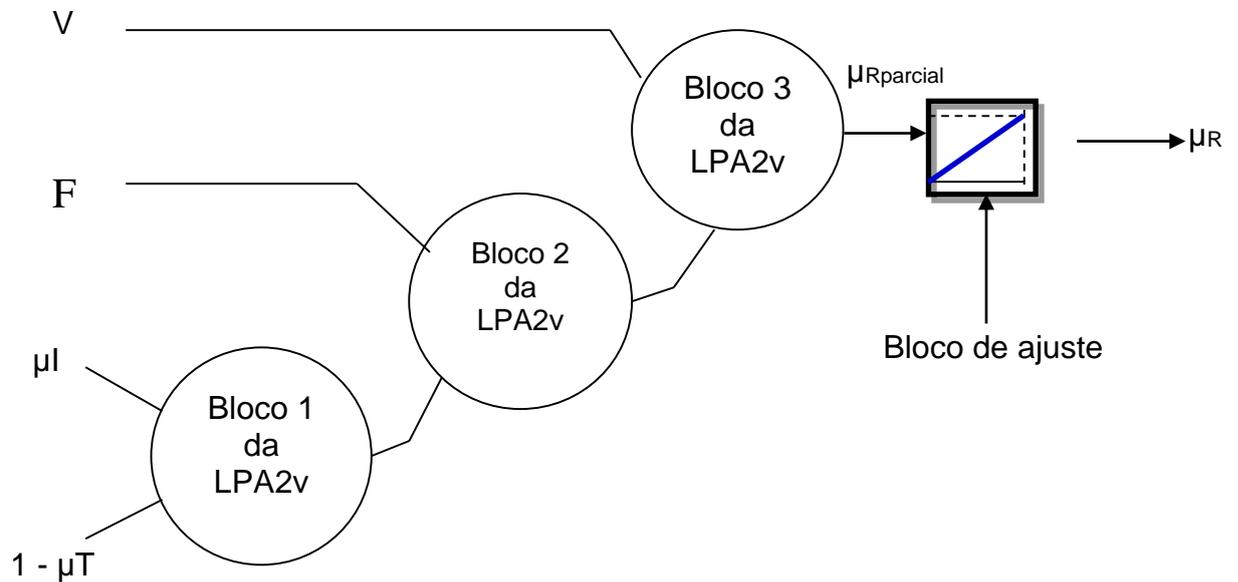


Figura 11 Blocos com aplicação do fator de ajuste.

A figura 12 mostra o gráfico funcional do bloco de ajuste, com o fator multiplicador adotado.

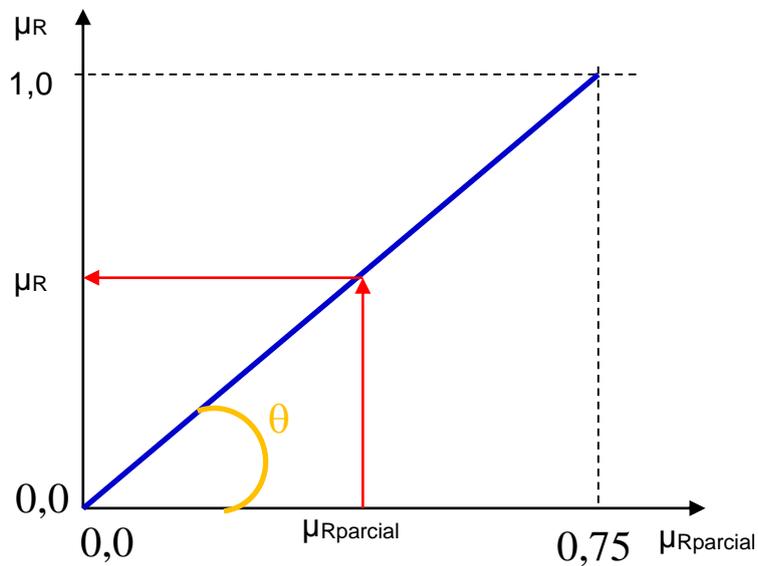


Figura 12 - Diferença em Evidência Real Parcial X Evidência Real Final.

Onde:

$$\text{tg } \theta = \mu_R / \mu_{Rparcial} = 1,0 / 0,75 = 1,3333334$$

$$\mu_R = \mu_{Rparcial} * 1,3333334$$

Desta forma, ao aplicar o fator de ajuste na rede de Blocos da LPA2v em cada proposição, tem-se os dados formatados na tabela 4, contendo os cálculos obtidos em cada proposição dos Blocos da LPA2v e mais o fator de ajuste, gerando desta forma a tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Tabela da arquitetura final da Aplicação Paraconsistente.

Arquitetura final, ajustada da Aplicação Paraconsistente utilizando Blocos da LPA2v								
Proposição	Verdadeiro	Falso	Indeterminado	Inconsistente	Bloco 1		Bloco 2	Análise da Proposição (Bloco 3)
	μ	λ	μI	μT	$1 - \mu T$	$\mu I T$	$\mu I T e F$	
1	0,58	0,14	0,08	0,20	0,80	0,14	0,50	0,72
2	0,20	0,70	0,05	0,05	0,95	0,05	0,83	0,25
3	0,60	0,25	0,15	0,00	1,00	0,08	0,59	0,68
4	0,90	0,05	0,02	0,03	0,97	0,03	0,51	0,93
5	0,75	0,15	0,05	0,05	0,95	0,05	0,55	0,80
6	0,84	0,12	0,04	0,00	1,00	0,02	0,55	0,86
7	0,54	0,15	0,10	0,21	0,79	0,16	0,50	0,70
8	0,20	0,80	0,00	0,00	1,00	0,00	0,90	0,20
9	0,60	0,29	0,07	0,04	0,96	0,06	0,62	0,66
10	0,95	0,05	0,00	0,00	1,00	0,00	0,53	0,95
11	0,85	0,15	0,00	0,00	1,00	0,00	0,58	0,85
12	0,86	0,09	0,03	0,02	0,98	0,03	0,53	0,89
13	0,84	0,06	0,06	0,04	0,96	0,05	0,51	0,89
14	0,89	0,04	0,02	0,05	0,95	0,04	0,50	0,93
15	0,79	0,04	0,12	0,05	0,95	0,09	0,48	0,88
16	0,99	0,00	0,01	0,00	1,00	0,01	0,50	1,00
17	0,70	0,05	0,13	0,12	0,88	0,13	0,46	0,83
18	0,75	0,05	0,16	0,04	0,96	0,10	0,48	0,85
19	0,56	0,04	0,18	0,22	0,78	0,20	0,42	0,76
20	0,02	0,02	0,82	0,14	0,86	0,48	0,27	0,50
21	0,64	0,11	0,15	0,10	0,90	0,13	0,49	0,77
22	0,79	0,09	0,00	0,12	0,88	0,06	0,52	0,85
23	0,50	0,10	0,02	0,38	0,62	0,20	0,45	0,70
24	0,70	0,22	0,07	0,01	0,99	0,04	0,59	0,74
25	0,06	0,08	0,42	0,44	0,56	0,43	0,33	0,49
26	0,00	0,00	0,20	0,80	0,20	0,50	0,25	0,50
27	0,02	0,10	0,24	0,64	0,36	0,44	0,33	0,46
28	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	1,00
29	0,89	0,05	0,02	0,04	0,96	0,03	0,51	0,92
30	0,06	0,89	0,04	0,01	0,99	0,03	0,93	0,09

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para obter então o índice de detecção, aplicado à FMEA, deve-se aplicar o algoritmo da LPA2v, adotando a Tabela 6 abaixo, contendo as faixas de valores, com base na análise de cada proposição:

Tabela 6- Tabela de Faixas Resultantes para determinar o índice de detecção.

Faixas do Resultante para determinar a detecção		
De	Até	Índice de detecção
0,00	0,10	1
0,11	0,20	2
0,21	0,30	3
0,31	0,40	4
0,41	0,50	5
0,51	0,60	6
0,61	0,70	7
0,71	0,80	8
0,81	0,90	9
0,91	1,00	10

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 6 demonstra que para cada valor aplicado no final do bloco de ajuste, calculado na Tabela 5, obtem-se o índice de detecção, dentro de cada faixa de valores. Desta forma, entre os valores 0,00 até 0,10, o índice de detecção da falha deve ser formatado como 1. Entre 0,11 a 0,20, o índice então deve ser 2. E assim por diante, até o último valor do índice, para faixa 0,91 a 1,00.

3.8 Estudo de Caso: Processo de Usinagem em um Torno com uso de Controle Numéricos Computadorizados - CNC

Para dar consistência ao presente trabalho, se faz necessário aplicar os conceitos estudados até então, em algum Processo Industrial, onde já houvesse sido elaborada uma FMEA sem os conceitos da LPA2v. Portanto, foi implementada com adaptação a FMEA de processos com a finalidade de identificar falhas previamente, numa aplicação com utilização de Torno CNC, através do modelo proposto, na tabela 15.

Para tanto, então elaborou-se a referida FMEA, nos seus passos de desenvolvimento, vistos anteriormente:

- Elaborar o levantamento dos Processos de usinagem

- Descrever as funcionalidades de cada processo levantado no item anterior
- Identificar possíveis falhas, inserindo valores para severidade, conforme tabela já descrita anteriormente, bem como os valores para ocorrência de falhas, também descrito anteriormente, obtendo-se então os valores referentes a detecção, conforme proposto no algoritmo da LPA2v, apresentado neste trabalho
- Avaliar cada situação de riscos, calculando o NPR (Número Potencial do Risco), que é obtido pelo produto entre Severidade, Ocorrência e Detecção
- Elaborar o plano de gerenciamento de riscos para as falhas cujo NPR seja superior a 125, embora não é esta a proposta do trabalho em questão.

Neste raciocínio, é possível observar no Quadro 10 (Processos de usinagem – Torno CNC) e nas Tabelas 8 (Falhas ocorridas em quantidades no período) e 9 (Falhas ocorridas no Processo Tomar referencia e iniciar o processo de torneamento) abaixo, as evidências das falhas ocorridas no processo de usinagem, durante o primeiro semestre de 2015.

3.8.1 Descrições do processo de usinagem

A Figura 13 lista a relação de processos de usinagem em um torno CNC em ordem sequencial de operações, que foi obtida após levantamento com operadores e desenvolvedores.

A referida sequência de atividades está descrita, desde o momento que a ordem de produção chega da área de planejamento para os operadores do torno, até o último sub-processo, onde a peça é encaminhada para o equipamento seguinte, sendo o sub-processo 8 o principal para usinagem das peças: “Tomar referência e iniciar o processo e torneamento”.



Figura 13 - Processos de Usinagem em Torno CNC

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.8.2 Principais falhas encontradas nos Processos de Usinagem

Foi feito o levantamento das principais falhas no processo de usinagem em um determinado torno CNC durante o ano de 2015, de janeiro a julho, elencados abaixo, na tabela 7:

Tabela 7 - Falhas ocorridas (em quantidades).

Falhas ocorridas - 2015 (Qte)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Processos de Usinagem							
Receber a ordem de produção	3	2					
Assegurar identificação da Peça (projeto, desenho, item / posição e ordem de produção)	3						
Fixar a peça na placa da máquina	1	2		2	1	3	1
Verificar quais tipos de ferramentas e acessórios a serem utilizados							
Verificar as condições de uso das ferramentas e acessórios							
Montar a ferramenta no porta-ferramentas da máquina							
Selecionar rotações e avanços conforme tabela fixadas no equipamento	1		1				
Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	6	8	4	4	5	8	7
Ao término da operação, eliminar cantos vivos e arestas cortantes	2	4	1		1	1	1
Retirar a peça da máquina e identificar (nº do projeto, desenho e ordem de produção)	1					1	
Encaminhar a peça para operação seguinte (próximo equipamento)	1		1		1	2	
Total de Falhas no período	18	16	7	6	8	15	9
Principais falhas encontradas no primeiro semestre de 2015							

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para elaboração da FMEA, optou-se em escolher o sub-processo “Tomar referência e iniciar o processo de torneamento”, por ser o de maior relevância no processo de produção de peças geradas por esse equipamento. Outro fator que levou a escolher o referido processo foi o fato de ter tido um número elevado de falhas no período, totalizando 42, de janeiro a julho de 2015.

3.8.3 Avaliação dos riscos – cálculo do NPR (Sem uso da LPA2v)

Observados os processos de usinagem elencados no Quadro anterior, onde constam mês a mês as falhas, em quantidade, ocorridas no período, percebeu-se que a de maior significância é a “Tomar referência e iniciar o processo de torneamento”, justamente o sub-processo de maior importância. Devido a isso e pela quantidade de falhas identificadas, foi o que motivou a avaliar os riscos, formatando a FMEA deste sub-processo, ainda sem aplicar a LPA2v, identificando as classes de severidade, ocorrência e detecção, necessárias para o cálculo do NPR. Foram identificadas as falhas do período e para cada uma delas o valor obtidos, devidamente formatados na tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Falhas ocorridas no Processo Tomar referência e iniciar o processo de torneamento.

Processo: Tomar referência e iniciar o processo de torneamento				
Cálculo do NPR				
Falhas Potenciais (causa raiz)	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR (S * O * D)
Ventilador do painel não funciona	8	3	5	120
Sujeira no filtro de ar	5	10	2	100
Sujeira no motor	8	5	3	120
Problema eletrônico	7	5	4	140
Rompimento da correia do motor	8	6	8	384
Rompimento da correia do eixo X	8	8	8	512
Rompimento da correia do eixo Z	8	5	8	320
Gerenciamento de Riscos - Cálculo do NPR				

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o passo seguinte, “Otimização e Gerenciamento de Riscos”, somente foi destacado as falhas que obtiveram NPR superior a 125, conforme sugere a Norma Internacional QS-9000 – FMEA – AIAG (1997). Portanto, as ações recomendadas para reduzir este NPR foram formatadas somente para: problema eletrônico, cujo NPR foi calculado em 140, rompimento da correia do motor, rompimento da correia do eixo X e rompimento da correia do eixo Y, obtendo-se 384, 512 e 320, respectivamente. Esses dados forma estão formatados na FMEA abaixo, com os respectivo plano de ação, quando necessário. Pode-se observar na figura 14.

3.8.4 Gerenciamento dos riscos – Elaboração da FMEA com plano de ação

Foi formatada a FMEA, contendo as falhas, elencadas na figura 14, abaixo:

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO																
FMEA: EQP1			Nº.:	1	Responsável: Engenheiro de Processo do Equipamento						Telefone:					
Data início:		01/08/2015	Revisão:		3	Preparado por: Equipe de Gestão da Qualidade e de Tecnologia de Automação										
Equipe:		Qualidade do EGP1														
Função do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais das Falhas	S E V E R	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha(s)	O C O R R	Controles Atuais do Processo	Controles Atuais do Processo Detecção	D E T E C	N P R	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Resultado das ações				
												Ações tomadas	S e v e	O c o r	D e t e	N P R
Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Queima por superaquecimento de Painel Elétrico	8	Ventilador do painel não funciona	3	Inexistente	Monitoramento remoto sem sinal sonoro	5	120							0
Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Lento	Queima por superaquecimento de Painel Elétrico	5	Sujeira no filtro de ar	10	inexistente	Nenhum	2	100							0
Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Travamento irregular da Placa, não girando a peça	8	Rompimento de Correia	5	Sistema sem consistência de regra operacional	Nenhum	3	120							0
Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Motor não liga	7	Sujeira no Motor	5	Inexistência de indicadores para medir eficiência e eficácia de manutenções	Inspeção visual elaborada presencialmente	4	140	Criação de indicadores com respectivas metas que avaliem eficiência e eficácia		Indicadores criados com meta inicial de 80%	7	3	3	63

Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Motor não liga	8	Sujeira no Motor	6	Inexistência de indicadores para medir eficiência e eficácia de manutenções	Inspeção visual a distância	8	384	Aumentar rotina de inspeção presencial	Equipe de Usinagem	Início de Setembro	8	3	4	96
Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Carro porta ferramenta não se movimenta	8	Problema eletrônico	8	Inexistência de indicadores para medir eficiência e eficácia de manutenções	nenhuma	8	512	Aumentar rotina de inspeção presencial	Equipe de Manutenção	Início de Setembro	8	2	3	48
Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Carro porta ferramenta não se movimenta	8	Rompimento de Correia do Eixo X e do Eixo Y	5	Inexistência de indicadores para medir eficiência e eficácia de manutenções	nenhuma	8	320	Aumentar rotina de inspeção presencial	Equipe de Manutenção	Início de Setembro	8	2	3	48

Figura 14 - FMEA do processo de torneamento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Esta Figura demonstra a formatação normal de uma *FMEA* de processos, contendo as principais modos falhas e seus efeitos potenciais. Contém as classes de severidade, de ocorrência e detecção, cujos valores variam de 1 a 10, conforme visto anteriormente. É possível perceber as causas e mecanismos potenciais de cada falha, bem como os controles atuais do processo. Para os valores de NPR superiores a 125, são descritas as ações recomendadas, com prazo e responsáveis para diminuir o número potencial do risco. A seguir é feito novo cálculo do NPR, pelo fato das ações recomendadas podem diminuir os valores das classes de detecção e ocorrência. Desta forma, o novo NPR tende a diminuir. A severidade não se altera, conforme o Manual de FMEA de processo.

3.8.6 Formatação da FMEA do estudo de caso de usinagem utilizando a LPA2v

Nesta etapa, conforme as falhas identificadas, foi formatada a FMEA, devidamente adaptada com o auxílio das proposições estudadas da LPA2v, devidamente registradas neste trabalho. Cada uma das colunas, contendo os modos de falhas e os respectivos valores de Severidade, adaptados anteriormente e de Ocorrência, de acordo com as bases de dados de estudos, já identificadas neste trabalho. A única novidade nesta formatação foi a que se refere a Detecção, onde foi aplicado os valores obtidos com a aplicação dos Blocos da LPA2v.

Não foi foco deste trabalho elaborar o plano de ações para minimizar os riscos para os valores de NPR acima de 125 e sim, apontar que referidas falhas, devidamente identificadas pelos cálculos nestes valores, podem ser motivo de estudos e preocupações futuras. Com a utilização da LPA2v, proposta neste estudo, o NPR pode ter um valor elevado, mas se fosse estimado pela simples suposição, tal risco não seria levado em conta.

Sendo assim utilizar-se a resultante dos Blocos da LPA2v obtidos na Tabela 5, que juntamente com a faixa de valores descritos na Tabela 6, permitiu que se formatasse, para as falhas elencados na Tabela 7, a FMEA adaptada com a LPA2v (Figura 15), onde pode-se demonstrar a formatação da FMEA referente as falhas em um determinado processo principal na produção de peças, utilizando um torno CNC. Como exemplo demonstra, somente a falha encontrada: “Sistema inoperante”, cujo efeito foi a “Queima por superaquecimento do painel elétrico”, percebido inicialmente que o “ventilador do painel não estava inoperante”. Aplicados os Blocos da LPA2v com o respectivo bloco de ajuste, demonstrado nas figuras 10 e 11 e Tabela 5. Para a proposição 1, no Bloco 1, μI (Indeterminado) e $1-\mu T$ (Inconsistente) são os sinais de entrada, cuja resultante será usada juntamente com γ (Falso) no Bloco 2. Para Bloco 3, o resultante do bloco anterior e o μ (Verdadeiro), como sinais de entrada permitem ter um valor, que aplicado ao bloco de ajuste (1,3333334), calcula-se a resultante destes nós, obtendo-se a Análise da proposição.

Dessa forma a equação para Bloco 1 da LPA2v, fica demonstrada por:

- Equação do Bloco 1: $\mu_{ER1} = \frac{(\mu I - (1 - \mu T)) + 1}{2}$
 Bloco 1: $\mu I = 0,08$; $\mu T = 0,20$; $1 - \mu T = 0,80$,
 Então: $\mu_{ER1} = (\mu I - (1 - \mu T) + 1) / 2$
 $\mu_{ER1} = ((0,08 - 0,80) + 1) / 2 = 0,14$ (9)

- Equação do Bloco 2: $\mu_{ER2} = \frac{(\gamma - \mu_{ER1}) + 1}{2}$
 Bloco 2: $\gamma = 0,14$; $\mu_{ER1} = 0,14$
 Então: $\mu_{ER2} = ((\gamma - \mu_{ER1}) + 1) / 2 = 0,50$
 $\mu_{ER2} = ((0,14 - 0,14) + 1) / 2 = 0,50$ (10)

- Equação do Bloco 3: $\mu_{ER3} = \frac{(\mu - \mu_{ER2}) + 1}{2}$
 Bloco 3: $\mu = 0,58$; $\mu_{ER2} = 0,50$
 Então: $\mu_{ER3} = ((\mu - \mu_{ER2}) + 1) / 2 = 0,54$
 $\mu_{ER3} = ((0,58 - 0,50) + 1) / 2 = 0,54$ (11)

- Aplicando-se 0 bloco de Ajuste de 1,33333334
 Então: Análise da Proposição 1 = $\mu_{ER3} * 1,33333334 = 0,72$. (12)

Aplicando-se a Tabela 6, que trata da faixa de resultantes para determinar o índice de detecção, então para 0,72, o valor obtido é 8, que entrará no cálculo do NPR, cuja equação é S X O X D, tendo como resultado o valor 192. Para este número deverão ser aplicadas recomendações, com o intuito de se reduzir a detecção, melhorando os valores do referido índice. Com isso, as ocorrências diminuirão, com o passar do tempo. Uma nova pesquisa, formatando novas proposições poderão ser efetuadas, procurando sempre a melhoria contínua. Vale lembrar que dificilmente os valores de severidade de uma falha nunca se alteram, pois se existe o risco e a falha ocorrer o grau deste indicador deverá ser aplicado. Muitas vezes ocorrem a eliminação definitiva da falha.

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO																				
FMEA: EQP1		Nº.: 1		Responsável: Engenheiro de Processo do Equipamento										Telefone:						
Data início: 01/08/2015		Revisão: 3		Preparado por: Equipe de Gestão da Qualidade e de Tecnologia de Automação																
Equipe: Qualidade do EGP1																				
Função do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais das Falhas	S E V E R	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha(s)	O C O R R	Controles Atuais do Processo	Controles Atuais do Processo Detecção	Causa Raiz (6M)	Natureza das falhas	Análise da Preposição	DETEC	N P R	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Resultado das ações					
															Ações tomadas	S e v e	O c o r	LPA2v	Detec	N P R
Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Queima por superaquecimento de Painel Elétrico	8	Ventilador do painel não funciona	3	Inexistente	Monitoramento remoto sem sinal sonoro	Proposições da LPA2v		Valor dos NAP's										
								MP	T	0,72	8	192								
								MT	T	0,25	3	72								
								MD	T	0,68	7	162								
								MQ	T	0,93	10	240								
								MA	T	0,80	8	192								
								MO	T	0,86	9	216								
								MP	P	0,70	7	167								
								MT	P	0,20	2	48								
								MD	P	0,66	7	157								
								MQ	P	0,95	10	228								
								MA	P	0,85	9	204								
								MO	P	0,89	9	212								
								MP	I	0,89	9	214								
								MT	I	0,93	10	240								
								MD	I	0,88	9	210								
								MQ	I	1,00	10	239								
								MA	I	0,83	9	216								
								MO	I	0,85	9	204								
								MP	D	0,76	8	192								
								MT	D	0,50	5	120								
								MD	D	0,77	8	184								
								MQ	D	0,85	9	204								
								MA	D	0,70	7	168								
								MO	D	0,74	8	192								
								MP	G	0,49	5	118								
								MT	G	0,50	5	120								
								MD	G	0,46	5	110								
								MQ	G	1,00	10	240								
								MA	G	0,92	10	240								
								MO	G	0,09	1	20								

Figura 16 – Exemplo da FMEA - Processo de usinagem – Adaptada à LPA2v.

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS

Para a confecção deste trabalho foi analisado o índice de NPR (Número potencial do risco) dos processos implantados, no período antes do emprego da FMEA (de 2007 até 2012), bem como o período que sucede a implantação (2013 e 2014). Com este intuito pudemos avaliar o fator de sucesso na implementação deste novo indicador no uso dos recursos da TI/TA, devidamente evidenciado na tabela 7 e no gráfico 4. Esta foi a forma de comparar antes da aplicação da FMEA e depois da sua aplicação.

Pode-se perceber a seguir os valores coletados no período de 2007 a 2012 sobre a as horas de falhas operacionais que ocorreram em 5 unidades operacionais, cuja responsabilidade tenha sido debitada para as áreas de TI e de TA. O foco deste trabalho refere-se as falhas que ocasionaram paradas em regime de emergência.

Com as informações obtidas percebeu-se a necessidade de criar mecanismos para reduzir as falhas relativas ao período, debitadas para TI/TA.

Foi implementada a *FMEA*, em 5 linhas de produção, sendo que neste trabalho somente foi formatada a referente ao EQP1 (Figura 17), dando um melhor esclarecimento a respeito do resultado de sua aplicação, contendo as falhas mais relevantes, conforme cálculo do NPR (número potencial de risco) baseada nas tabelas da FMEA (Severidade, Ocorrência e Detecção), adaptadas para este estudo. O NPR é o produto entre os valores das 3 tabelas, focando nos de maior valores. Por definição da própria ferramenta, aplicamos a otimização dos recursos nos valores cujo produto ficou em acima de 125. Abaixo deste valor, não foi evidenciado necessidade de atenção.

Embora fora percebido uma melhoria após 2013, as falhas continuavam a ocorrer e sua prévia detecção continuava sempre dependente da subjetividade do ser-humano. Novas técnicas foram necessárias para a aumentar a detecção, portanto aplicou-se as técnicas da lógica Paraconsistente anotadas em 2 valores (LPA2v), através das estruturas dos Blocos descritas neste trabalho. Após isso percebeu-se melhorias descritas no item 4.2.

4.1 Demonstrativos da situação encontrada no período do levantamento das informações.

Os valores transcritos para os gráficos foram obtidos de bases operacionais no ambiente Oracle, no período de 2007 a 2012.

O Gráfico 1, representa os registros coletados no período de 2007 a 2012 sobre as horas de falhas operacionais que ocorreram em 5 unidades operacionais que denominamos EQP1, EQP2, EQP3, EQP4 e EQP5, cuja responsabilidade tenha sido debitada para as áreas de TI e de TA, resguardando desta forma o sigilo operacional caracterizado pela política de segurança da informação da instituição. O foco deste trabalho refere-se as falhas que ocasionaram paradas em regime de emergência. Contém os valores das Parada Operacionais, em caráter emergencial, ocorridas em equipamentos de produção, durante o período de 2007 e a 2012, em horas de inoperância operacionais.



Gráfico 1 - Paradas Operacionais - em horas - responsabilidade TI/TA.

Este Gráfico 1, demonstra em termos de quantidade, os valores de cada tipo de Equipamento, conforme a responsabilidade atribuída da TI e a TA.

No Gráfico 2, constam as responsabilidades cuja causa raiz tenham sido devidamente indentificadas, a seguir: Matéria Prima, Meio Ambiente, Métrica, Método, Máquina e Mão de obra, também em horas pelo período. Também foram coletados e devidamente plotados as horas no mesmo período relativos a natureza das falhas a seguir: Total, Parcial, Intermitência, Demasia e Degradação, bem como os motivos causadores das falhas, respectivamente gráficos 3 e tabela 18.

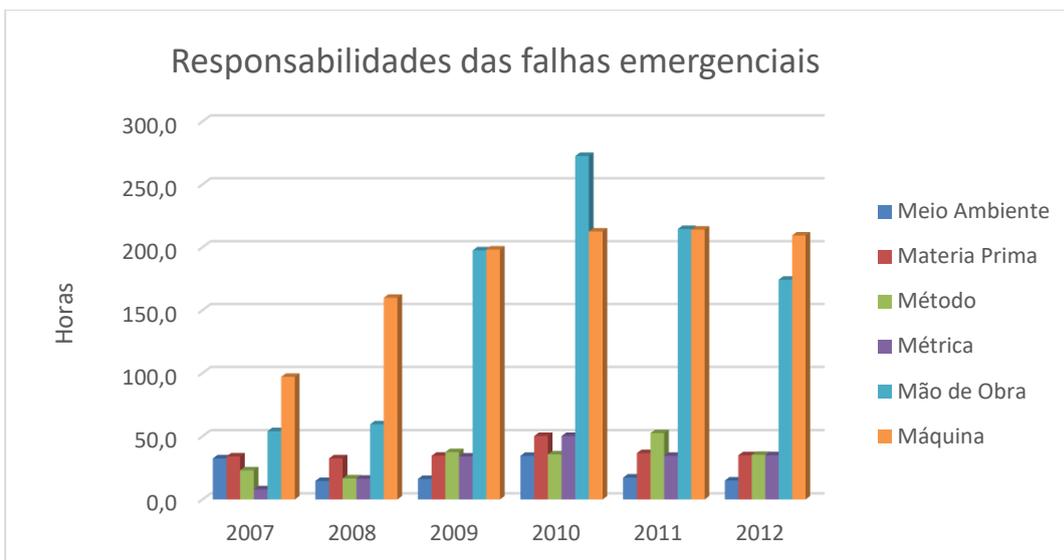


Gráfico 2 - Responsabilidades de TI/TA nas falhas emergenciais - em horas.

Este gráfico 2 demonstra o que foi comentado anteriormente.

Com relação a natureza das falhas, o próximo gráfico demonstra por ano, os valores referentes ao mesmo período.

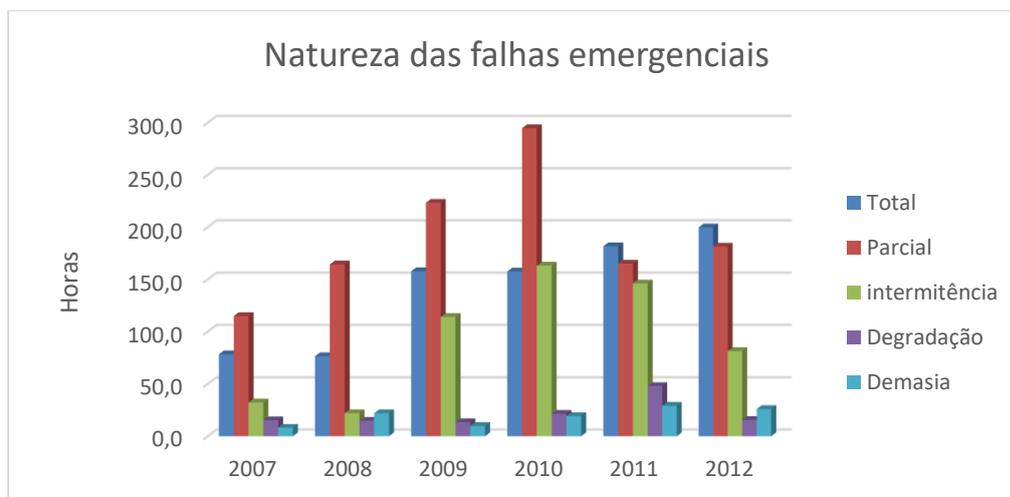


Gráfico 3 - Natureza das falhas emergenciais.

Já o Gráfico 3, demonstra a falhas emergenciais, de acordo com a característica de sua Natureza: Total, Parcial, Intermitência, Degradação e Demasia.

A Tabela 9 demonstra os principais motivos que geraram as falhas, no mesmo período, contabilizadas em horas.

Tabela 9 - Principais motivos das falhas emergenciais.

Falhas das Paradas Emergenciais por Principais Motivos (Horas)						
Motivos	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Aplicações Não testadas	23,3	41,3	104,0	57,6	54,4	8,3
Má gestão nas Mudanças	48,0	61,1	76,0	66,0	64,7	56,3
Sobrecarga de Processamento	48,0	64,4	68,5	69,5	47,5	40,7
Procedimentos desatualizados	24,0	8,0	48,0	49,0	14,3	14,1
Comunicação de dados (redes)	60,8	24,5	104,4	129,1	76,5	102,0
Segurança de Informações	7,5	8,0	17,5	108,1	81,3	74,7
Rotinas de Backups	8,0	45,6	40,7	57,0	60,8	70,7
Integração com Automação	11,5	31,6	11,6	42,8	49,3	72,0
Problemas em Bases de Dados	14,4	7,5	24,3	44,2	64,2	24,1
Outros	2,9	7,4	23,0	32,3	56,4	40,8
Total	248,5	299,4	517,9	655,6	569,4	503,6

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em 2012, foram implementadas FMEA's, ainda sem o uso da LPA2v e já percebeu-se que para os mesmos motivos elencados na Tabela 9, uma melhora foi apresentada, pois criou-se planos de ações para as falhas, onde o NPR foi calculado acima de 125. A Tabela 10 é uma análise comparativa em média de horas, antes e após a FMEA.

Tabela 10 - Análise comparativa antes e depois da FMEA.

Análise comparativa tempo médio (horas)				
Principais motivos identificados	Antes da FMEA	Após FMEA (horas)		
	2007 - 2012	2013	2014	Média
Aplicações Não testadas	48,2	35,7	31,5	33,6
Má gestão nas Mudanças	62,0	38,7	33,1	35,9
Sobrecarga de Processamento	56,4	33,9	33,5	33,7
Procedimentos desatualizados	26,2	7,3	10,9	9,1
Comunicação de dados (redes)	82,9	39,1	29,3	34,2
Segurança de Informações	49,5	30,9	27,6	29,2
Rotinas de Backups	47,1	5,5	14,1	9,8
Integração com Automação	36,4	34,1	27,9	31,0
Problemas em Bases de Dados	29,8	30,9	15,8	23,3
Outros	27,1	25,8	18,9	22,4
Média das horas no período	46,6	28,2	24,2	26,2

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Gráfico 4 demonstra melhor esta comparação, entre as médias horárias no período, antes de 2013 (2007 a 2012). Percebeu-se uma queda nos anos de 2013 e 2014. No final de 2014, foi iniciado o estudo da LPA2v para se obter maior precisão do indicador de detecção.



Gráfico 4 - Média das horas no período.

A Figura 15 é um exemplo de formatação da FMEA em um determinado equipamento, contendo as falhas obtidas no período, com os planos de ação recomendados. Pode-se observar, que após aplicar os planos de ação, em alguns casos, tanto as ocorrências, como a detecção tiveram valores inferiores, diminuindo por sua vez o NPR. Mas a detecção, continuou sendo utilizada, conforme a subjetividade do ser-humano. Havia necessidade de maior precisão.

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO																
FMEA: EQP1			Nº.: 1		Responsável: Engenheiro de Processo do Equipamento						Telefone:					
Data início: 01/10/2011			Revisão: 3		Preparado por: Sérgio Figueiredo Pereira											
Equipe: Qualidade do EGP1 e da TI																
Função do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais das Falhas	S E V E R	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha(s)	O C O R R	Controles Atuais do Processo	Controles Atuais do Processo Detecção	D E T E C	N P R	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Resultado das ações				
												Ações tomadas	S e v e	O c o r	D e t e	N P R
Registro de Produção do EQP1	Sistema Inoperante	Travamento e congelamento da tela	8	Switch de Rede principal com problemas	8	Inexistente	Monitoramento remoto sem sinal sonoro	5	320	Alteração do módulo de monitoramento para inserir sinal sonoro	Equipe de Automação em 02/04/2013	Manutenção feita em sistema de monitoramento	8	3	2	48
Registro de Produção do EQP1	Sistema Lento	Travamento Irregular da tela de registro	7	Tráfego intenso de rede	7	Inexistente	Monitoramento do tráfego de rede feito visualmente	5	245	Criação de Mecanismos que verifiquem temporariamente o tráfego de	Equipe de Sistemas Operacionais em 31/05/2013	Adaptação do sistema de Gerenciamento da Rede Corporativa	7	4	3	84
Liberação para próxima Unidade Operacional	Falta coleta de Peso do produto intermediário	Tempo de coleta informado posteriormente e atrasando o processo de liberação	5	Procedimento operacional não sendo seguido	7	Sistema sem consistência de regra operacional	Inexistente, sendo detectado no processo seguinte	6	210	Criação de consistência no momento de liberação	Equipe de Sistemas Corporativos (legado) 30/06/2013	Manutenção efetuada	5	2	2	20
Registo de Produção de EQP1	Controle de Manutenções	Paradas ocasionadas para retrabalho	7	Inexistência de controle sobre mudanças operacionais efetuadas pela TI	6	Inexistência de indicadores para medir eficiência e eficácia de manutenções	Inexistência	6	252	Criação de indicadores com respectivas metas que avaliem eficiência e eficácia no processo de mudança	Equipe de Governança de TI em 31/01/2013	Indicadores criados com meta inicial de 80%	7	3	3	63

Figura 17 - Exemplos de formatação da FMEA.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Percebeu-se que somente em aplicando os conceitos de FMEA nos sistemas desenvolvidos pelas equipes da Tecnologias de Informação (TI) e Tecnologia de Automação (TA) já obteve-se benefícios quantitativos, pois permitiram identificar falhas antecipadamente e com os devidos planos de ações as falhas foram mitigadas e em alguns casos eliminadas.

4.2 Melhorias encontradas após a detecção utilizando as técnicas da LPA2v

Com o uso da LPA2v, em conjunto com a *FMEA*, através das proposições e os Blocos da análise Paraconsistente, observou-se no estudo de caso do processo de usinagem, que as falhas potenciais devem ter sua detecção mais apurada, sem que fiquem somente na intuição do usuário das aplicações. Desta forma, por exemplo, observou-se que apenas na primeira falha encontrada pode-se obter condições significativas nos cálculos do NPR, adquiridos nas proposições estudadas neste trabalho (figura 16).

A Metodologia proposta ao grupo de especialistas é a identificação para que em cada falha catalogada, possa se mapear a sua Natureza (Total, Parcial, Intermitente, Demasia e Degradação) e determinar a característica de responsabilidade (causa raiz), apresentada por Ishikawa (6M: Matéria-Prima, Método, Métrica, Mão-de-Obra, Máquina e Meio-Ambiente); com o propósito de obter o valor correspondente da detecção calculado pelas proposições citadas na aplicação da técnica LPA2v, permitindo a identificação prévia do índice de detecção.

Percebeu-se que a detecção é muito subjetiva ao ser-humano, podendo gerar situações que não correspondem a real situação da detecção da falha. Com a aplicação da LPA2v, pode-se ter um indicador que mais se assemelhe a realidade. Não que isto vá evitar a referida falha, mas possibilitará uma detecção previamente diagnosticada.

Para tanto, é necessário acrescentar na FMEA, as naturezas prováveis para cada falha, bem como a característica do responsável pela falha “Sistema Inoperante”, cujo efeito potencial é Queima por super aquecimento do Painel Elétrico e a causa registrada como sendo Ventilador do Painel não funciona, a severidade (S) foi apontada como 8, a ocorrência (O) na faixa de 3 e a detecção (D), por intuição apontada como 5. O NPR ($S * O * D$) para este caso, calculado em 120. Como é inferior a 125, não existe a necessidade de se criar um plano de ação. Mas

ao aplicarmos a FMEA adaptada com a LPA2v existem situações onde o NPR foi calculado acima de 125, como por exemplo se a parada for Total (T), cuja causa raiz tenha sido a Matéria Prima (MP), o valor da detecção calculado na análise da proposição foi 7. Portanto o NPR, calculado foi 173. Para este caso, por estar acima de 125, deve-se ter um plano de ação preventivamente. Da mesma forma para outras situações, como causa raiz tenha sido a máquina com parada total, entre outras. Enfim, toda vez onde o NPR for superior a 125, um plano deve ser elaborado.

Percebeu-se então, que pelas proposições apontadas pelas equipes envolvidas no estudo de caso em questão, nas falhas pode-se ter situações que necessitem uma planificação de mitigação ao risco, as quais foram ilustradas na figura 14.

Não foi abordagem deste estudo propor os planos de ações, mas sim apontar que a LPA2v pode auxiliar na identificação do indicador de detecção, durante a elaboração da FMEA de um determinado processo ou produto.

5 CONCLUSÕES

A proposta inicial deste trabalho foi a adaptação da FMEA – Failure Mode and Effects Analysis, para análise de falhas operacionais ocorridas em ambiente industrial cujo incidente tenha sido debitado para a TI/TA. Com a utilização da LPA2v, foi possível quantificar as proposições que compõem as opiniões dos especialistas acerca dos fatores causadoras de contingências, e dessa forma construir um modelo que minimiza os fatores subjetivos da análise.

A técnica da *FMEA* foi desenvolvida para atender empresas com produtos mais complexos em termos de sistema, subsistema e componente, como o segmento aeroespacial, automobilístico e em outras indústrias críticas de segurança. A utilização desta técnica em empresas nos diversos segmentos, tem se mostrado bastante eficiente e eficaz, segundo Christian Grante, no artigo *Automating the Failure Modes and Effects Analysis of Safety Critical System*, da *IEEE*, em 2004, embora seja um processo lento e laborioso, pois os analistas preenchem listas dos modos de falhas de seus componentes e procuram inferir nos efeitos que referidas falhas implicam. Assim, uma das principais críticas da *FMEA* é que o tempo necessário para realizar a análise muitas vezes pode exceder o período das fases de concepção e desenvolvimento e, portanto, a análise de fato torna-se uma mera entrega para o cliente e não uma ferramenta útil capaz de melhorar o design. Quando o tópico deixa de ser processo de fabricação e passa a ser sistema informatizado, o interesse em diagnosticar esses riscos se torna fundamental, pois todas essas organizações tem nas informações a razão de sobreviver. Por não compreender adequadamente os benefícios, muitas empresas não adotam a abordagem preventiva na sua cultura organizacional, utilizando-a estritamente para cumprir um requisito automotivo e dessa forma tem se tornado uma burocracia na empresa, sem apresentar resultados práticos.

A Lógica Paraconsistente, anotada com anotação de 2 valores (LPA2v) é recomendada como um modelo adequado para ajudar a solucionar inconsistências, pois para cada proposição são associados dois valores de crença ou graus de evidência (DA SILVA FILHO, 1999), cuja análise produz uma saída denominada estado lógico resultante. Isso é essencial para tratar contradições, ou seja, quando os dados ou sinais podem ser contraditórios e ajudam na tomada de decisões.

Desta forma, a contribuição deste trabalho está em evidenciar o uso destas

duas técnicas, uma preventiva – *FMEA* e a outra como estrutura de um modelo matemático, que através das análises dos nós paraconsistentes auxiliaram para verificar o quanto os valores propostos empiricamente pelo homem, sem uma análise mais profunda são incompletas. Esta estrutura proposta pode ser aplicada em Indústrias em geral, identificando os benefícios da abordagem preventiva e como esta abordagem pode se tornar um diferencial competitivo.

Finalmente, este trabalho alcançou seu objetivo, evidenciando como pode ser um referencial para empresas de processos contínuos, na aplicação da técnica preventiva aos seus sistemas de automação, integrados aos sistemas corporativos.

Todavia, este estudo não se esgota neste momento, merecendo maior aprofundamento em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, J. M., **Fundamentos da lógica anotada**. 1992. 135p. – Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo – FFLCH, São Paulo/SP.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP, **Manual da FMEA**. 3ª. Ed. 2001.

AUGUST, J., **Failure mode and effect analysis**. CQA, American Biltrite Inc., Tape Products Division, Moorestown. USA. 2002.

BOEHM, B.; DEMARCO, T. **Software risk management**. IEEE Software, pp.17-19. 1997.

BONANOMI, R. C. **Aplicação da Teoria Grey e FMEA - Análise dos Modos de Falhas e Efeitos na Priorização de Riscos de Projetos de Desenvolvimento de Software Produto**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 06, n. 04, 2010

CAMPOS, V. F., **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Minas Gerais; INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 1999.

FARIA, C. **Diagrama de Causa e Efeito, 2012**. Disponível em <http://www.infoescola.com/administracao_/diagrama-de-causa-e-efeito/>. Acesso em 15/09/2015.

FORD MOTOR COMPANY. **Failure mode and effects analysis - FMEA Handbook**. Reference Manual, 2004.

DA SILVA FILHO, J., I. **Algoritmo paraconsistente extrator de efeitos da vontradição – ParaExtr ctr.**, Artigo Técnico, Revista Seleção Documental, N.15 Ano 4 ISSN 1809-0648, - Ed. Paralogike - Santos – SP-Brasil, 2009 pp 21-24.

-----., **Métodos de aplicações da lógica paraconsistente anotada de anotação com dois valores-LPA2v com construção de algoritmo e implementação de circuitos eletrônicos**. 1999. 226p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. Disponível em: <<http://www.paralogike.com.br/Tese.pdf>>. Acesso em 22 nov 2013. 21:15.

-----., **Introdução ao conceito de estado lógico paraconsistente ϵ .**, Artigo Técnico, Revista Seleção Documental, N.17 Ano 5 ISSN 1809-0648, - Ed. Paralogike - Santos – SP-Brasil, 2010 pp 20-21.

-----., **Introdução às células neurais artificiais paraconsistentes**, Artigo técnico, Revista Seleção Documental N. 8 Ano 2, ISSN 1809-0648 Ed. Paralogike – Santos - SP, 2007, pp. 5-13.

-----., **Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v**, Artigo técnico, Revista Seleção Documental,

ISSN 1809-0648 Ed. Paralogike – Santos - SP, 2009, pp. 18-25.

-----., **Métodos algorítmicos de monitoramento e análise de sistemas ecológicos**”, Apostila do Curso de Mestrado em Ecologia, Universidade Santa Cecília - Santos/SP – 2013.

-----.; ABE, J. M., **Introdução à lógica paraconsistente anotada com ilustrações** Editora Emmy, 1ª. Ed., Santos, 2000, pp. 25,54,147-150.

-----.; SCALZITTI, A. **Análises de sinais de informações em lógica paraconsistente anotada**, Artigo Técnico, Revista Seleção Documental, N.14 Ano 4 ISSN 1809-0648, - Ed. Paralogike - Santos – SP - Brasil, 2009 pp 22-26.

-----., OLIVEIRA, D. B., DE AGUIAR, A.L.L., FERRARA, L.F., GARCIA, D.V., MÁRIO, M.C. **Algoritmos fundamentados em Lógica Paraconsistente Anotada aplicadas em análise de variáveis físicas de um processo industrial**. Artigo Técnico, Revista Seleção Documental, N.27 Ano 7 ISSN 1809-0648 - Ed. Paralogike - Santos – SP-Brasil, 2012 pp 18-23.

FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G. **Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA**. Revista Gestão e Produção, v. 13, n. 2, p. 245-259, 2006.

GEHRMANN, M. **Ações para aperfeiçoar a gestão das tecnologias de informação em áreas industriais de organizações de médio e grande porte**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.

HELMAN, H. e ANDERY, P.R.P. **Análise de Falhas (aplicação dos métodos de FMEA - FTA)**, Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 1995;

JURAN, J. M. **A Qualidade desde o Projeto**. São Paulo: Pioneira, 1992

JURAN, J.M. e FRANK, M. G. **Juran – Controle da qualidade handbook – componentes básicos da função qualidade**. São Paulo: Mc Graw-hill/Makron, 1991.

KAMINSKI, P.C., **Desenvolvimento, produtos, planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

LEMES NETO, M.C., VENSON, N., **Lógica Paraconsistente, Artigo Técnico – Departamento de Informática e Estatística - UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina**.2002.

Disponível em:

<http://educaonline.eng.br/UNISANTA/HTML/DOWNLOAD/LIVRO/LPA/LP_Nerio_Mauricio.pdf > Acesso em: 15 Jan 2015.

LORENZI, L.T. **Automação industrial: um estudo sobre a integração da**

empresa. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU, 2006.

MAGALHAES, I. e PINHEIRO, W. - **Gerenciamento de processos de TI, uma abordagem com base na ITIL**, 2008.

Manual de FMEA–Análise de modo e efeitos de falha potencial, AIAG, 3ª edição, 2001.

MARIO, M.C. **Proposta de aplicação de redes neurais artificiais Paraconsistentes como classificador de sinais utilizando a aproximação funcional.** Dissertação de Mestrado. Engenharia Elétrica, UFU – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG, 2009 84p.

NEPOMUCENO, L. X., **Técnicas de manutenção preditiva.** 1ª. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.

OLIVEIRA, U. R. de; PAIVA, E. J. de; ALMEIDA, D.de. **Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas.** Produção, São Paulo, v. 20, n. 1, Mar. 2010.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos modos de falha e efeitos: Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAM, 1997.

PAPADOPOULOS, Y & PARKER, D. & GRANTE, C. **Automating the Failure Modes and Effects Analysis of Safety Critical Systems – IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering**, 2004.

PEREIRA N; LAURINDO, F. **A Importância da tecnologia da informação na indústria da construção naval: um estudo de caso.** Produção, v. 17, n. 2, p. 354-367, 2007.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software.** 7ª. Ed. São Paulo: McGraw-Hill. 2006.

RIBEIRO, K.S. **FMEA – Metodologia de qualidade em projetos de sistemas de Informação.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia (Centro de Paula Souza), 2009.

RISSINO, S.D., **Metodologia de avaliação da relevância de atributos em grandes bases de dados incompletos utilizando conjuntos aproximados e Lógica Paraconsistente.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Itajubá - Itajubá / MG, 2009 122p.

SCOTT, D., **Operation Zero Downtime**, Gartner Group, Inc. USA. 2000.

SILVA, J., VIEIRA, R. BERGAMASCHI, M. e PENHA, R. **Estudo sobre o gerenciamento de riscos técnicos em manutenções corretivas.** Unisanta

Science and Technology, 2013.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

-----.; STUART, C; JOHNSTON, R., **Administração da Produção**. 2ª. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUZA, R. V. B. **Aplicação do método FMEA para priorização de ações de melhorias em fluxos de processos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, 2012.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis from theory to execution**. ASQ Quality press, (2 ver exp). EUA, 1995.

SUBRAHMANIAN, V.S., **On the semantics of quantitative logic programs**, Proc. 4th. IEEE Symposium on Logic Programming, Computer Society, press, Washington D.C., 1987.

TOLEDO, J. C. de; AMARAL, D. C. **Apostila (texto básico) sobre FMEA**. GEPEQ – Grupo de estudos e pesquisa em qualidade – DEP-UFSCar, 2007. Disponível em < <http://www.gepeq.der.ufscar.br/FMEA-APOSTILA.pdf> > Acesso em 19 de agosto de 2015.

TURBAN, E.; KING, D. **Comércio eletrônico: estratégia e gestão**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

VIEIRA, E. C. de S. **Metodologia FMEA – Análise de Modo e Efeitos de Falhas e Orientações Estratégicas**. Monografia apresentada no curso de Pós-Graduação Lato Sensu de Gestão da Produção da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2008.

GLOSSÁRIO DE APENDICES

APENDICE A – Formatação da FMEA adaptada no estudo de caso.....	88
---	----

Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Lento	Queima por superaquecimento de Painel Elétrico	5	Sujeira no filtro de ar	10	inexistente	Nenhum	Proposições da LPA2v		Valor dos NAP's	DETEC	NPR							
								MP	T	0,72	8	400							
								MT	T	0,25	3	125							
								MD	T	0,68	7	338							
								MQ	T	0,93	10	500							
								MA	T	0,80	8	400							
								MO	T	0,86	9	430							
								MP	P	0,70	7	348							
								MT	P	0,20	2	100							
								MD	P	0,66	7	328							
								MQ	P	0,95	10	475							
								MA	P	0,85	9	425							
								MO	P	0,89	9	443							
								MP	I	0,89	9	445							
								MT	I	0,93	10	500							
								MD	I	0,88	9	438							
								MQ	I	1,00	10	498							
								MA	I	0,83	9	450							
								MO	I	0,85	9	425							
								MP	D	0,76	8	380							
								MT	D	0,50	5	250							
								MD	D	0,77	8	383							
								MQ	D	0,85	9	425							
								MA	D	0,70	7	350							
								MO	D	0,74	8	400							
								MP	G	0,49	5	245							
								MT	G	0,50	5	250							
								MD	G	0,46	5	230							
								MQ	G	1,00	10	500							
								MA	G	0,92	10	500							
								MO	G	0,09	1	43							

Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Travamento irregular da Placa, não girando a peça	8	Rompimento de Correia	5	Sistema sem consistência de regra operacional	Nenhum	Proposições da LPA2v		Valor dos NAP's	DETEC	NPR							
								MP	T	0,72	8	320							
								MT	T	0,25	3	100							
								MD	T	0,68	7	270							
								MQ	T	0,93	10	400							
								MA	T	0,80	8	320							
								MO	T	0,86	9	344							
								MP	P	0,70	7	278							
								MT	P	0,20	2	80							
								MD	P	0,66	7	262							
								MQ	P	0,95	10	380							
								MA	P	0,85	9	340							
								MO	P	0,89	9	354							
								MP	I	0,89	9	356							
								MT	I	0,93	10	400							
								MD	I	0,88	9	350							
								MQ	I	1,00	10	398							
								MA	I	0,83	9	360							
								MO	I	0,85	9	340							
								MP	D	0,76	8	304							
								MT	D	0,50	5	200							
								MD	D	0,77	8	320							
								MQ	D	0,85	9	340							
								MA	D	0,70	7	280							
								MO	D	0,74	8	320							
								MP	G	0,49	5	196							
								MT	G	0,50	5	200							
								MD	G	0,46	5	184							
								MQ	G	1,00	10	400							
								MA	G	0,92	10	400							
								MO	G	0,09	1	34							

Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Motor não liga	8	Sujeira no Motor	6	Inexistência de indicadores para medir eficiência e eficácia de manutenções	Inspeção visual a distância	Proposições da LPA2v		Valor dos NAP's	DETEC	NPR						
								MP	T	0,72	8	384						
								MT	T	0,25	3	120						
								MD	T	0,68	7	324						
								MQ	T	0,93	10	480						
								MA	T	0,80	8	384						
								MO	T	0,86	9	413						
								MP	P	0,70	7	334						
								MT	P	0,20	2	96						
								MD	P	0,66	7	314						
								MQ	P	0,95	10	456						
								MA	P	0,85	9	408						
								MO	P	0,89	9	425						
								MP	I	0,89	9	427						
								MT	I	0,93	10	480						
								MD	I	0,88	9	420						
								MQ	I	1,00	10	478						
								MA	I	0,83	9	432						
								MO	I	0,85	9	408						
								MP	D	0,76	8	365						
								MT	D	0,50	5	240						
								MD	D	0,77	8	367						
								MQ	D	0,85	9	408						
								MA	D	0,70	7	336						
								MO	D	0,74	8	384						
								MP	G	0,49	5	235						
								MT	G	0,50	5	240						
								MD	G	0,46	5	221						
								MQ	G	1,00	10	480						
								MA	G	0,92	9	442						
								MO	G	0,09	1	41						

Tomar referência e iniciar o processo de torneamento	Sistema Inoperante	Carro porta ferramenta não se movimenta	8	Problema eletrônico	8	Inexistência de indicadores para medir eficiência e eficácia de manutenções	nenhuma	Proposições da LPA2v		Valor dos NAP's	DETEC	NPR							
								MP	T	0,72	7	461							
								MT	T	0,25	3	160							
								MD	T	0,68	7	432							
								MQ	T	0,93	10	640							
								MA	T	0,80	8	512							
								MO	T	0,86	9	550							
								MP	P	0,70	7	445							
								MT	P	0,20	2	128							
								MD	P	0,66	7	419							
								MQ	P	0,95	10	608							
								MA	P	0,85	9	544							
								MO	P	0,89	9	566							
								MP	I	0,89	9	570							
								MT	I	0,93	10	640							
								MD	I	0,88	9	560							
								MQ	I	1,00	10	637							
								MA	I	0,83	9	576							
								MO	I	0,85	9	544							
								MP	D	0,76	8	486							
								MT	D	0,50	5	320							
								MD	D	0,77	8	490							
								MQ	D	0,85	9	544							
								MA	D	0,70	7	448							
								MO	D	0,74	8	512							
								MP	G	0,49	5	314							
								MT	G	0,50	5	320							
								MD	G	0,46	5	294							
								MQ	G	1,00	10	640							
								MA	G	0,92	10	640							
								MO	G	0,09	1	54							

