

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RAFAEL DE ANDRADE CORRÊA

**MODELAGEM DE BANCO DE DADOS RELACIONAL
PARA UTILIZAÇÃO EM FMEA**

Vitória
2009

RAFAEL DE ANDRADE CORRÊA

**MODELAGEM DE BANCO DE DADOS RELACIONAL
PARA UTILIZAÇÃO EM FMEA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Rossoni Sisquini.

Vitória
2009

RAFAEL DE ANDRADE CORRÊA

**MODELAGEM DE BANCO DE DADOS RELACIONAL
PARA UTILIZAÇÃO EM FMEA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em 08 de dezembro de 2009.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profº. Dr. Geraldo Rossoni Sisquini
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Profº. Dr. Rafael Luís Teixeira
Universidade Federal do Espírito Santo

Profª. Sideane Mattos D'nadai
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores e colegas que durante o curso de graduação, em Engenharia Mecânica, ajudaram-me a enfrentar e vencer todos os obstáculos que a vida profissional nos impõe.

Agradeço também ao Professor Dr. Geraldo Rossoni Sisquini que me orientou durante a idealização e execução deste projeto.

RESUMO

O presente projeto apresenta a metodologia da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA - Failure Modes and Effects Analysis) como uma ferramenta valiosa para aumento da confiabilidade de produtos, processos, máquinas, não apenas como um procedimento para avaliação de falhas potenciais e problemas futuros, mas também para aplicação em falhas conhecidas. Visando a agilidade do desenvolvimento das atividades da FMEA foi projetado um banco de dados capaz de armazenar as informações de forma eficiente. As técnicas utilizadas para a modelagem foram a Abordagem Entidade Relacionamento que deu origem ao modelo conceitual do banco de dados e a Abordagem Relacional que transformou o modelo conceitual no modelo lógico.

Palavra-chave: FMEA – Banco de Dados – Abordagem Relacional – Abordagem Entidade Relacionamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seqüencia de atividades da FMEA	17
Figura 2 – Exemplo de formulário para FMEA	18
Figura 3 – Relacionamento entre entidades representado graficamente	21
Figura 4 – Representação gráfica das cardinalidades máximas	22
Figura 5 – Entidades do Modelo Conceitual	29
Figura 6 – Relacionamento Responsável	30
Figura 7 – Relacionamento Equipe	30
Figura 8 – Relacionamento Analisa	31
Figura 9 – Relacionamento Pertence	31
Figura 10 – Relacionamento Falha	32
Figura 11 – Relacionamento Gera	32
Figura 12 – Relacionamento Classifica Severidade	32
Figura 13 – Relacionamento Causado	33
Figura 14 – Relacionamento Classifica Probabilidade	33
Figura 15 – Relacionamento Controlada	33
Figura 16 – Relacionamento Classifica Detecção	34
Figura 17 – Relacionamento Riscos - Efeito, Riscos - Causa, Riscos - Controle	34
Figura 18 – Relacionamento Riscos - Ação	35
Figura 19 – Relacionamento Reavalia Severidade, Reavalia Probabilidade, Reavalia Detecção	36
Figura 20 – Diagrama do modelo lógico completo	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Índices de Severidade	13
Quadro 2 – Índices de Probabilidade/Freqüência	14
Quadro 3 – Índices de Probabilidade de Detecção	15
Quadro 4 – Descrição das entidades	29
Quadro 5 – Atributos de FMEA	37
Quadro 6 – Atributos de Pessoas	37
Quadro 7 – Atributos de Componentes	37
Quadro 8 – Atributos de Modos	38
Quadro 9 – Atributos de Efeitos	38
Quadro 10 – Atributos de Causas	38
Quadro 11 – Atributos de Controles	39
Quadro 12 – Atributos de Riscos	39
Quadro 13 – Atributos de PlanosAção	39
Quadro 14 – Atributos de Severidades	40
Quadro 15 – Atributos de Probabilidades	40
Quadro 16 – Atributos de Detecções	40
Quadro 17 – Conversão de Pessoas e FMEA	42
Quadro 18 – Conversão de Componentes	42
Quadro 19 – Conversão de Modos, Efeitos,Causas e Controles	43
Quadro 20 – Conversão de Riscos e PlanosAção	44
Quadro 21 – Conversão de Severidades, Probabilidades, Detecções	44
Quadro 22 – Notações utilizadas no diagrama do modelo conceitual	48

LISTA DE SIGLAS

FMEA – Análise dos Modos e Efeitos de Falha

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

SAE – Society of Automotive Engineers

DFMEA – FMEA de Produto ou FMEA de Projeto

PFMEA – FMEA de Processo

MFMEA – FMEA de Máquina

NPR – Número de Prioridade de Risco

SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados

DER – Diagrama de Entidades e Relacionamentos

ER – Entidade Relacionamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA – FMEA	12
2.1 CONCEITOS	12
2.2 METODOLOGIA	15
2.3 BENEFÍCIOS	18
3 A MODELAGEM DE DADOS	20
3.1 ABORDAGEM ENTIDADE RELACIONAMENTO (ER)	21
3.1.1 Conceitos	21
3.2 ABORDAGEM RELACIONAL	23
4 REQUISITOS PARA O BANCO DE DADOS DE FMEA	25
4.1 GRUPO DE REQUISITOS FMEA	25
4.2 GRUPO DE REQUISITOS BREAKDOWN	26
4.3 GRUPO DE REQUISITOS DE ANÁLISE	26
4.4 GRUPO DE REQUISITOS PLANO DE AÇÃO	27
4.5 GRUPO DE REQUISITOS CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO	27
5 ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS	28
5.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ENTIDADES	28
5.2 IDENTIFICAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS	30
5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS	36

6 ELABORAÇÃO DO MODELO LÓGICO DO BANCO DE DADOS	41
6.1 DETALHAMENTO DOS ATRIBUTOS	41
6.2 CRIAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS	45
7 CONCLUSÃO	49
8 REFERÊNCIAS	50
ANEXOS	51
ANEXO A – SCRIPT DE CRIAÇÃO DAS TABELAS NO BANCO DE DADOS	52
ANEXO B – SCRIPT DE IMPLEMENTAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS NO BANCO DE DADOS	54

1 INTRODUÇÃO

Devido à tendência geral do meio industrial de busca por continuas melhorias de produtos e de processos sempre que possível, a utilização da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA - Failure Modes and Effects Analysis) como uma técnica disciplinada de identificar e ajudar a minimizar preocupações em potencial é muito importante.

Originalmente o FMEA surgiu como uma maneira de evitar a inclusão de falhas num sistema por falhas geradas no projeto do produto, ou do processo, aumentando assim sua confiabilidade. Sendo deste modo uma ferramenta para ser utilizada antes da ocorrência do evento (falha). Porém, atualmente a técnica tem sido utilizada para os mais diversos fins como diminuir a probabilidade de falha em processos administrativos, análises de fontes de risco em engenharia de segurança e na indústria de alimentos. Segundo Pinto e Xavier (2005), para a manutenção industrial a aplicação mais vantajosa de FMEA ocorre na análise de falhas já ocorridas.

Ainda segundo Pinto e Xavier (2005), para falhas e falhas potenciais mais importantes os gastos no desenvolvimento de ações de FMEA são pagos muitas vezes pela economia obtida evitando as falhas.

A FMEA, quando implantada, desempenha um papel importante no fornecimento de informações que auxiliam na tomada de decisões de uma empresa, portanto, é interessante agilizar o seu desenvolvimento. Uma maneira de otimizar o procedimento de FMEA é a informatização do processo.

A utilização de um banco de dados auxilia o desenvolvimento da Análise dos Modos e Efeitos de Falha pelo aumento da produtividade e eficiência, pois facilita o acesso e a consulta de FMEA's já concluídos, assim como dos processos em andamento, com a possibilidade de emissão de relatórios com quaisquer informações referentes às análises, agilizando o processo de tomada de decisão.

Neste contexto o objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de banco de dados que represente a realidade da FMEA de equipamentos aplicando técnicas de modelagem de banco de dados relacional.

2 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA – FMEA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma NBR 5462 (1994), define FMEA como sendo “um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de pane (falha) que podem existir em cada subitem, e a determinação dos efeitos de cada modo de pane (falha) sobre os outros subitens e sobre a função requerida do item”.

De modo geral, o FMEA pode ser descrito como um grupo de atividades sistemáticas com o objetivo de:

- Reconhecer e avaliar a falha potencial de um equipamento, sistema ou processo e os efeitos desta falha;
- Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência da falha potencial; e
- Documentar o processo de análise.

O Manual de Referência SAE J1739 da Society of Automotive Engineers (SAE) apresenta recomendações de desenvolvimento para três tipos de FMEA. FMEA de Produto ou FMEA de Projeto (DFMEA), FMEA de Processo (PFMEA) e o FMEA de Máquina (MFMEA).

O DFMEA considera as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. Já no PFMEA são consideradas as falhas no planejamento e execução do processo e no MFMEA consideram-se as falhas nos equipamentos e ferramentas utilizadas na fabricação do produto.

2.1 CONCEITOS

Para se entender a metodologia da FMEA é necessário definir alguns conceitos importantes, tais quais:

Grupo de FMEA: Grupo de técnicos e engenheiros das diversas áreas da empresa, operação, manutenção e suprimentos. O grupo deve ser multidisciplinar pela complementaridade de conhecimentos visando maior produtividade e eficiência inclusive nos custos.

Falha: Cessação da função requerida de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho requerido de um equipamento, produto, etc.

Modo de Falha: Maneiras específicas que um elemento do sistema em análise possa falhar resultando em falha do sistema como um todo.

Efeitos de Falha: É a consequência adversa da falha causada por um Modo de Falha. Na determinação dos Efeitos de Falha devem ser considerados segurança, meio ambiente, qualidade do produto, produtividade, próximo estágio do processo, etc.

Causas da Falha: Razão pela qual ocorre a falha por um determinado modo.

Severidade: Gravidade do efeito da falha ranqueada 1 a 10 de acordo com critérios adotados por cada instituição. O Quadro 1 apresenta um exemplo de critérios de classificação da severidade do efeito.

Índice de Severidade	Efeito	Critério
1	Nenhum	Sem efeito
2	Muito Menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado por clientes acurados
3	Menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado pela média dos clientes
4	Muito Baixo	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes
5	Baixo	Veículo/item operável, mas com item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com nível de desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação
6	Moderado	Veículo/item operável, mas com item(s) de Conforto/Conveniência inoperável (is). Cliente sente desconforto
7	Alto	Veículo/item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito
8	Muito Alto	Veículo/item inoperável, com perda das funções primárias.
9	Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação de veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação
10	Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação de veículo e/ou envolve não-conformidade sem a legislação

Quadro 1 – Índices de Severidade
Fonte: SAE J1739

Freqüência: Probabilidade de ocorrência da falha. Também é determinada a partir de índices, como mostrado no exemplo do Quadro 2.

Probabilidade de falha	Taxas de falha possíveis	Índice de Ocorrência
Muito alta: falha quase inevitável	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Falhas freqüentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
Baixa: Poucas falhas	1 em 2000	4
	1 em 15000	3
Remota: Falha é improvável	1 em 150000	2
	≤ 1 em 1.500.000	1

Quadro 2 – Índices de Probabilidade/Freqüência
Fonte: SAE J1739

Detectabilidade: Grau de probabilidade de detecção da falha. O Quadro 3 apresenta um exemplo de ranqueamento da Detectabilidade.

Detecção	Critério: Probabilidade de Detecção pelo Controle	Índice
Absoluta incerteza	Controle não irá e/ou não pode detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha; ou não existe Controle	10
Muito remota	Possibilidade muito remota que o Controle irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	9
Remota	Possibilidade remota que o Controle irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	8
Muito baixa	Possibilidade muito baixa que o Controle irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	7
Baixa	Possibilidade baixa que o Controle irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	5
Moderadamente Alta	Possibilidade moderadamente alta que o Controle irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	4
Alta	Possibilidade alta que o Controle irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	3
Muito alto	Possibilidade muito alta que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	2
Quase certamente	O Controle irá quase certamente detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha	1

Quadro 3 – Índices de Probabilidade de Detecção
Fonte: SAE J1739

Número de Prioridade de Risco (NPR): Produto da Severidade da falha pela Freqüência da falha pela Detectabilidade da falha. Esse índice dá a prioridade de risco da falha.

2.2 METODOLOGIA

O processo de análise dos modos e efeitos de falha segue uma seqüência lógica de atividades iniciada com a nomeação de um líder que será o responsável por formar um Grupo de FMEA. A equipe deve definir o objeto da análise e obter seus desenhos, *As-Builts*, descrições, listas de componentes, e qualquer tipo de documentação que ajude no conhecimento do item analisado.

Posteriormente, deve-se dividir o elemento em análise em conjuntos menores. Para cada conjunto avalia-se se uma possível falha acarretaria em perdas intoleráveis e/ou indesejáveis. Se positivo dá-se seqüência as subdivisões e avaliações até chegar a elementos indivisíveis. Segundo Mohr (1994), a este procedimento dá-se o nome de *Breakdown* e ele ajuda a encurtar o tempo da análise evitando a avaliação de elementos cujas falhas são menos relevantes.

Ainda segundo Mohr (1994) há três tipos de *Breakdown*. Funcional, quando se divide o objeto pela sua funcionalidade. Geográfico, quando se divide o objeto pela sua localidade. Combinado, quando se faz uso conjunto das duas maneiras citadas anteriormente. Deve-se se usar um sistema de codificação para identificar cada elemento de análise.

Na seqüência do *Breakdown*, para cada elemento em análise devem-se descrever os modos pelo qual ele pode falhar. Para cada modo de falha do componente, elencar os efeitos potenciais da falha. Ainda para cada modo de falha do componente, determinar as causas básicas da falha.

O FMEA não é uma ferramenta para determinação das causas da falha. Para esta função há procedimentos mais eficientes como o Diagrama de Ishikawa, *Root Cause Analysis*, Análise da Árvore de Falha ou o próprio *Brainstorm* que quando aplicados junto com o FMEA se tornam ainda mais poderosas.

Em seguida, listar as ferramentas/controles existentes para detectar ou prevenir a falha. Aqui estão inclusos desde utilização de sensores, passando aplicações de testes e rotinas de inspeção/manutenção.

Feito isso, determinar a severidade de cada efeito de falha, a freqüência de ocorrência da falha do componente por modo de falha, e a probabilidade de detecção da falha.

Para a determinação destes itens uma escala para classificá-los deve ser adotada para cada uma delas. Para o caso da freqüência, se houver histórico de dados disponíveis este será uma ferramenta poderosa para elaborar a classificação. Caso estes dados não estejam disponíveis, a classificação deve ser estimada baseada na experiência dos engenheiros e experiências com equipamentos similares.

Determinados freqüência, severidade e probabilidade de detecção pode-se calcular NPR. Segundo Mohr (1994), para o este cálculo deve-se considerar apenas o efeito mais severo do modo de falha. Para os NPR mais elevados dá-se prioridade ao desenvolvimento das ações para eliminar e corrigir o problema.

A Figura 1 apresenta a seqüência lógica das atividades da FMEA.

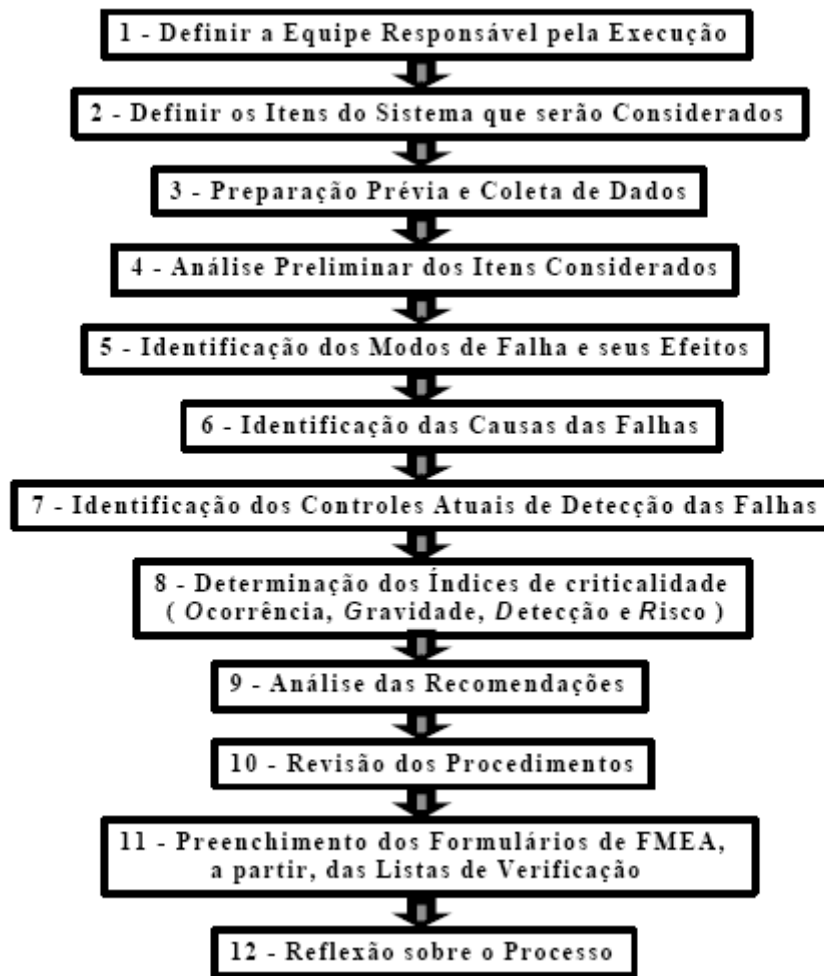


Figura 1 – Seqüência de atividades da FMEA

A FMEA possui um formulário de registro e acompanhamento que pode funcionar como um roteiro no desenvolvimento da análise como mostra a Figura 2.

Cod_pec :
 Nome da Peça:
 Data:
 Folha No. _____ de _____

Descrição do Produto/ Processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo
						S	O	D	R		
(0) Produto/ Processo objeto de análise	(1) Função e/ou características que devem ser atendidas pelo produto. Ex.: Suportar o conjunto do eixo.	(2) Forma e modo como as características ou funções podem deixar de ser atendidas. Ex.: Desbalanceado, Rugoso, Trincado...	(3) Efeitos (consequências) do tipo de falha, sobre o sistema e sobre o cliente. Ex.: vazamento de ar, ruído, desgaste prematuro, etc...	(4) Causas e condições que podem ser responsáveis pelo tipo de falha em potencial. Ex.: Erro de montagem, falta de lubrificação, etc...	(5) Medidas Preventivas e de detecção que já tenham sido tomadas e/ou são regularmente utilizadas nos produtos/processos das da empresa.	(6) S E V E R I D A D E	(7) O C O R R Ê N C I A	(8) D E T E C Ç Ã O	(9) R I S C O S	(10) Ações recomendadas para a diminuição dos riscos	(11) Responsável e Prazo
<p>FLUXOGRAMA</p> <p>Quem está sendo analisado?</p> <p>Quais funções ou características devem ser atendidos?</p> <p>Como a função ou característica pode não ser cumprida?</p>		<p>Que efeitos tem este tipo de falha?</p>	<p>Quais poderiam ser as causas?</p>	<p>Quais medidas de prevenção e descoberta poderiam ser tomadas?</p>	<p>S</p> <p>O</p> <p>D</p> <p>R</p>	<p>Quais os riscos prioritários?</p> <p>Quais medidas podem ser tomadas para atenuar os riscos?</p>					

S = Severidade O = Ocorrência D = Detecção R = Riscos

Figura 2 – Exemplo de formulário para FMEA
 Fonte: TOLEDO – FMEA: Análise do Tipo e Efeito de Falha

2.3 BENEFÍCIOS

Entre as vantagens da utilização do FMEA está sua versatilidade. É um procedimento que pode ser empregado em diversas fases do empreendimento. Desde a concepção, passando pelo projeto, construção e operação abrangendo os diversos subsistemas.

Melhoria na compreensão do funcionamento do equipamento ou sistema proporcionando uma ampliação de conhecimento aos participantes de especialidades diversas.

Desenvolvimento de trabalho em grupo com reflexos altamente positivos na análise, solução de problemas e estabelecimento de programas de trabalho. À medida que as pessoas da produção, manutenção, suprimentos e outras especialidades participam dos grupos multifuncionais para análise de problemas, aumenta o grau de comprometimento e compreensão de problemas que afetam a empresa.

Definição de como o item pode falhar e das causas básicas de cada falha, desenvolvendo mecanismos para evitar falhas que possam ocorrer espontaneamente ou causadas por atos das pessoas.

Elaboração dos planos para garantir a operação do item em um nível de desempenho desejado e aumento de sua vida útil.

Além disso, a FMEA é uma forma sistemática de se catalogar informações sobre as falhas dos equipamentos.

3 A MODELAGEM DE DADOS

De acordo com Heuser (1998), o modelo de dados é uma descrição formal da estrutura de um banco de dados. Onde banco de dados é o conjunto de dados integrados que tem por objetivo atender a uma comunidade de usuários.

A modelagem de dados consiste em descrever a organização dos dados no banco e tem o objetivo de compreender e simplificar os dados de forma sistemática, facilitar o entendimento por pessoas não ligadas a processamento de dados, projetar sem restrições quanto ao armazenamento e características do gerenciador e simplificar o projeto de banco de dados.

Deve ser feita através de uma linguagem de modelagem de dados que podem ser textuais ou gráficas. Podem ser enfocados em diversos níveis de abstração de acordo com a intenção do arquiteto de dados. Estes níveis são patamares de visão de informações. No projeto de banco de dados, normalmente são considerados dois níveis de abstração de modelo de dados, o do modelo conceitual e o do modelo lógico.

Segundo Heuser (1998), o modelo conceitual é o modelo de dados abstrato, que descreve a estrutura de um banco de dados de forma independente de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) em particular. Onde SGBD é o software que incorpora as funções de definição, recuperação e alteração de dados em um banco de dados.

Existem várias técnicas para se construir o modelo conceitual. A abordagem Entidade-Relacionamento constitui-se do método mais utilizado pelos arquitetos de dados. Nesta técnica, um modelo conceitual pode ser representado através de um diagrama, chamado Diagrama de Entidades e Relacionamentos (DER).

O modelo lógico é o modelo de dados que representa a estrutura de dados de um banco de dados no nível de abstração visto pelo usuário do SGBD.

Segundo Heuser (1998) o projeto se dá em duas fases, a modelagem conceitual onde é elaborado o DER, e o projeto lógico onde o modelo conceitual é transformado em modelo lógico.

3.1 ABORDAGEM ENTIDADE RELACIONAMENTO (ER)

A abordagem ER trata-se da técnica mais difundida para construção do modelo conceitual de um banco de dados relacional. Esta é a técnica proposta por Peter Chen em 1976, baseia-se na percepção do mundo real, constituído por um conjunto de objetos básicos chamados de entidades e de relacionamentos entre essas entidades.

O Modelo ER destina-se principalmente a projetos de Banco de Dados. É expresso graficamente por um DER. Procura representar com fidelidade semântica os acontecimentos do mundo real, tornando simples os projetos de sistemas complexos.

Possui extensões conceituais importantes, quanto a forma de se efetuarem os relacionamentos entre as entidades, retratando a realidade de forma natural e com uma visualização gráfica de fácil entendimento.

3.1.1 Conceitos

O conceito fundamental da abordagem ER é o conceito de entidade. Segundo Heuser (1998), entidade é o conjunto de objetos da realidade modelada sobre as quais deseja-se manter informações no banco de dados. No DER as entidades são representadas como um retângulo que contém o nome da entidade.

De acordo com Heuser (1998), relacionamento é o conjunto de associações entre entidades.

Em um DER, um relacionamento é representado através de um losango, ligado por linhas aos retângulos representativos das entidades que participam do relacionamento.

A Figura 3 apresenta um exemplo de relacionamento entre entidades.

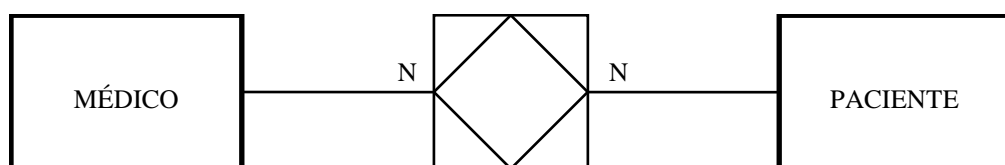


Figura 3 – Relacionamento entre entidades representado graficamente

Cardinalidade (mínima, máxima) de entidade em relacionamento é o número (mínimo, máximo) de ocorrências de entidade associadas a uma ocorrência da entidade em questão através do relacionamento.

Indica a quantidade de ocorrências de uma entidade participante no relacionamento. O conceito de máximos e mínimos identifica os valores que a cardinalidade de cada entidade pode assumir no relacionamento.

Segundo Heuser (1998), para fins práticos, não é necessário distinguir entre diferentes cardinalidades máximas maiores que 1. Por este motivo, apenas duas cardinalidades máximas são relevantes: a cardinalidade máxima **1** e a cardinalidade máxima “muitos”, referida pela letra **n**. Já para as cardinalidades mínimas, a distinção é feita somente para os valores de cardinalidade **0** e **1**.

A cardinalidade mínima 1 indica a obrigatoriedade de associação da entidade com a entidade com a qual se relaciona. Para a cardinalidade mínima 0 a associação é opcional.

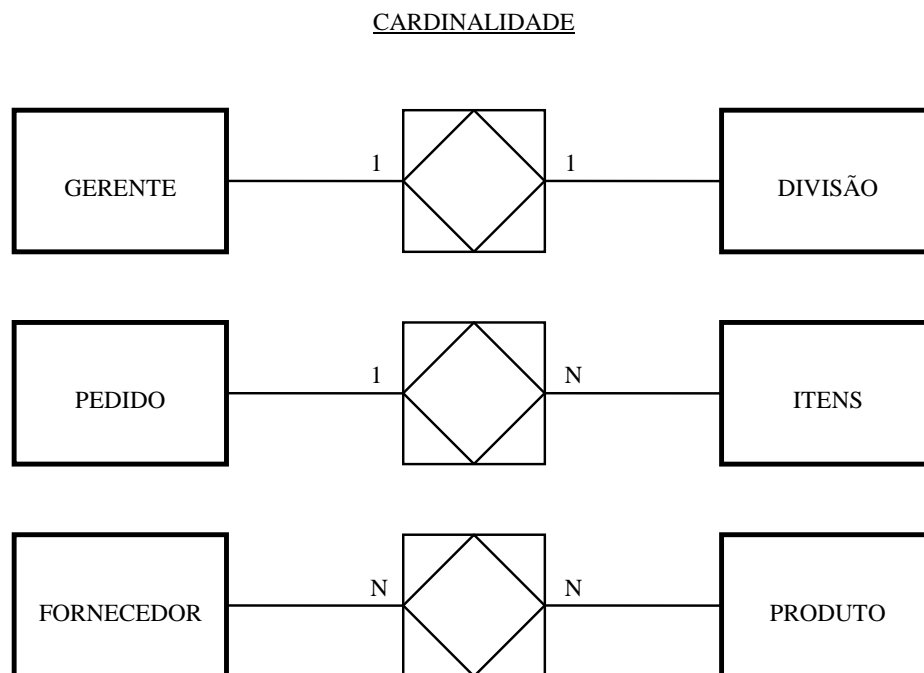


Figura 4 – Representação gráfica das cardinalidades máximas

Os tipos de relacionamento são definidos pela combinação das cardinalidades máximas das entidades que os compõe. Assim teremos três tipos de relacionamentos binários: relacionamento um-para-um (1:1), relacionamento um-para-muitos (1:N) e relacionamento muitos-para-muitos (N:N).

O relacionamento (1:1) é o tipo de relacionamento que, sendo um relacionamento entre A e B. O relacionamento ocorre quando para cada ocorrência da entidade A associa-se uma e somente uma ocorrência da entidade B.

O relacionamento (1:N) é o relacionamento em que temos “N” ocorrências de uma entidade associadas a uma única ocorrência de outra entidade.

No relacionamento (N:N) não existe restrição na formação das associações, ou seja, uma ocorrência de uma entidade A pode estar associada a várias ocorrências de uma entidade B e vice-versa.

Atributo é um dado que é associado a cada ocorrência de uma entidade ou um relacionamento.

Segundo Heuser (1998), na prática os atributos não são representados graficamente para não sobrecarregar o DER.

O identificador de entidade é conjunto de atributos e relacionamentos cujos valores distinguem uma ocorrência da entidade das demais. O Identificador deve ser mínimo e único.

3.2 ABORDAGEM RELACIONAL

Um banco de dados relacional é composto de tabelas. Os objetos manipulados pelos usuários são linhas e colunas destas tabelas. As linhas são chamadas também de tuplas e as colunas de atributos. Podem existir 0 (zero) ou mais linhas e 1 (uma) ou mais colunas. A ordem das linhas ou colunas é irrelevante. Não há duas linhas iguais.

O conceito básico para estabelecer relações entre linhas de tabelas de um banco de dados relacional é o da *chave*. Em um banco de dados relacional, há ao menos três tipos de chaves a considerar: a chave *primária*, a chave *alternativa*, e a chave *estrangeira*.

O conceito de chave primária está ligado à própria concepção do modelo relacional. Representa a forma de identificação de uma única linha ou tupla de uma Entidade através de um identificador único em valor. Então, existe em uma Entidade relacional um atributo ou conjunto de atributos concatenados que permitem que se identifique uma e somente uma linha ou tupla desta Entidade.

Em uma Entidade pode ocorrer de existir mais de uma coluna ou atributo com a propriedade de ser chave primária. Quando isto acontece denominamos, este(s) atributo(s) de chaves alternativas.

Quando dizemos que duas Entidades possuem colunas comuns, devemos observar que provavelmente esta coluna em uma das Entidades constitui-se de uma chave primária. Na outra Entidade, esta coluna comum irá caracterizar-se então como a Chave Estrangeira. É, na realidade, uma referência lógica de uma Entidade à outra. Não existe limitação quanto ao número de chaves estrangeiras que podem existir em uma Entidade.

Em função dos conceitos de Chave Primária e Chave Estrangeira, foram elaboradas duas regras de integridade de dados do modelo relacional. São elas, a de Integridade de Identidade e Integridade Referencial.

A Integridade de Identidade diz respeito a chave primária de uma tabela. Segundo a regra, a chave primária não pode assumir valor NULO. Um valor NULO, em banco de dados, representa uma informação desconhecida. Pois, a chave primária por ser identificadora de uma tabela, quando contém informação NULA, não nos identifica nada. O mesmo se aplica para chaves primárias compostas. Ela não pode ser parcialmente NULA, ou seja, ter algum atributo componente NULO.

Se uma tabela contém uma chave estrangeira, então o valor desta chave pode ser igual a um valor da chave primária existente na tabela referenciada ou Nula.

Conclui-se que não podemos ter um valor em uma chave estrangeira de uma tabela que não apareça na chave primária da tabela referenciada. As regras de integridade do modelo relacional representam a garantia de que as tabelas guardam informações compatíveis.

A manutenção de valor nulo para uma chave estrangeira significa que não existe, para as informações daquela linha, uma ligação lógica com a tabela referenciada.

Outras restrições de integridade relativas à abordagem relacional são as integridades de domínio que garantem que o valor de um campo obedeça a definição de valores admitidos para a coluna.

4 REQUISITOS PARA O BANCO DE DADOS DE FMEA

Antes do início da diagramação do banco de dados foram elencadas as principais necessidades que deveriam ser atendidas pelo banco de dados de FMEA. Essas necessidades são chamadas de requisitos.

A definição dos principais requisitos foi baseada na metodologia do FMEA recomendada pelo Manual de Referência SAE J1739 da SAE. A escolha deste documento como referência ocorreu devido a sua grande aceitação por profissionais da área.

Foi realizada uma separação dos requisitos em grupos, nomeados de acordo com o fluxo de atividades do FMEA. Os grupos adotados foram: FMEA, Breakdown, Análise, Planos de Ação e Critérios de Classificação.

Para facilitar a identificação, os requisitos foram codificados de acordo com seus grupos. Todo código de requisito se iniciará com a letra “R” em maiúsculo seguido da inicial do nome do seu grupo também em maiúsculo, e por fim um valor numérico com dois dígitos. Por exemplo, o primeiro requisito do grupo FMEA receberá o código “RF01”.

4.1 GRUPO DE REQUISITOS FMEA

Este grupo contempla as atividades de identificação das informações básicas do FMEA. Para este grupo foram listados sete requisitos:

- RF01 – Todo FMEA deverá ter um cabeçalho com as seguintes informações: número, nome da pessoa responsável, nome das pessoas que integram a equipe do FMEA, data da análise, data da revisão e item a ser analisado;
- RF02 – O cadastramento da pessoa responsável pelo FMEA é obrigatório. Assim como o cadastramento do número do FMEA que deve ser único;
- RF03 – O FMEA deve ter apenas um responsável;
- RF04 – Uma série de pessoas poderá integrar a equipe do FMEA;
- RF05 – Um FMEA analisa vários componentes. Um componente não pode ser analisado mais de uma vez no mesmo FMEA;

- RF06 – Um FMEA só pode ser finalizado quando todos os seus campos, com exceção da data de revisão, estiverem preenchidos; e
- RF07 – Uma pessoa deve possuir Nome e Cargo.

4.2 GRUPO DE REQUISITOS BREAKDOWN

O grupo Breakdown contempla a escolha do equipamento a ser analisado e o desmembramento do equipamento escolhido em níveis menores. Para este grupo foram listados três requisitos:

- RB01 – Permitir o desmembramento do equipamento em diversos níveis. Os níveis correspondem aos itens disponíveis para a análise;
- RB02 – Cada item deverá ter nome, código externo e uma descrição de suas funções;
- RB03 – Os itens em todos os seus níveis poderão ser analisados individualmente; e
- RB04 – Cada componente deve ter um Código, Nome, Função, Tipo e um Número que o identifique.

4.3 GRUPO DE REQUISITOS DE ANÁLISE

Este grupo trata da análise dos elementos. Iniciando com a identificação dos modos de falha até o cálculo do NPR. Cinco requisitos foram listados para este grupo:

- RA01 – Um item pode falhar por um ou mais modos de falha. Cada modo de falha terá uma descrição;
- RA02 – Um item quando deixa de exercer sua função pela presença de um modo de falha produz um ou mais efeitos de falha. Os efeitos de falha possuem uma descrição e uma avaliação da sua severidade;
- RA03 – O modo de falha de um componente possuirá também uma ou mais causas para que ele ocorra. As causas de falha possuem uma descrição e uma avaliação de sua probabilidade de ocorrência;

- RA04 – Para cada uma das causas deverão ser listados seus controles. Controles são maneiras empregadas para sua detecção e/ou prevenção. Um controle possui sua descrição e uma avaliação da probabilidade dele detectar a causa da falha; e
- RA05 – Cada combinação MODO-EFEITO-CAUSA-CONTROLE receberá uma avaliação de risco calculada pela multiplicação da severidade do efeito da falha pela probabilidade de ocorrência da falha pela probabilidade de detecção da falha.

4.4 GRUPO DE REQUISITOS PLANO DE AÇÃO

Este grupo se refere à atividade de determinação das ações para combaterem os riscos. Para este grupo apenas um requisito:

- RP01 – Cada Risco poderá ter uma ação recomendada para evitar a falha ou minimizar seus impactos. Um plano de ação possui uma descrição da ação recomendada, um responsável por executá-la, um prazo para a execução, uma descrição da ação implantada e uma reavaliação de seus índices após a execução do plano de ação e um cálculo dos NPR's resultantes desta reavaliação.

4.5 GRUPO DE REQUISITOS CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO

Este grupo define o requisito para a classificação das Severidades, Probabilidades e Probabilidades de Detecção:

- RC01 – Os índices de severidade, probabilidade e detecção devem ser determinados baseados em escalas definidas. Estas escalas devem possuir um valor, uma descrição e um critério.

5 ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS

A partir da descrição dos requisitos para a base de dados foi possível começar a construir o Diagrama de Entidade-Relacionamento (ER). Adotou-se, então, a estratégia "top-down" - de cima para baixo - que segundo Heuser (1998), consiste em iniciar o trabalho com uma modelagem superficial, fazendo uso de conceitos mais abstratos e de acordo com o desenvolvimento o detalhamento do modelo é feito gradualmente.

A ordem de execução das atividades para construção do Modelo Entidade-Relacionamento foi a identificação das entidades, a identificação dos relacionamentos com as cardinalidades máximas e a determinação dos atributos das entidades e relacionamentos.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ENTIDADES

O primeiro passo para o desenvolvimento do Diagrama ER foi a enumeração das entidades. As entidades foram determinadas baseadas nos conceitos e instruções de desenvolvimento de Análises dos Modos e Efeitos de Falha.

O conjunto de entidades escolhidas foi: FMEA, Pessoas, Componentes, Modos, Efeitos, Causas, Controles, Severidades, Probabilidades, Detecções, Riscos e PlanosAção.

Entidade	Descrição
FMEA	Representa o FMEA propriamente dito
Pessoas	Representa todas as pessoas envolvidas no FMEA
Componentes	Representa os elementos que estão sujeitos à análise
Modos	Representa os modos em que os componentes podem falhar
Efeitos	Representa os efeitos de acordo com o modo de falha
Causas	Representa as causas da ocorrência dos modos de falha
Controles	Representa os controles implantados para detectar a causa de um modo de falha
Severidades	Representa a escala de severidade de um efeito de falha
Probabilidades	Representa a escala de probabilidade de ocorrência de uma causa de falha
Detecções	Representa a escala de probabilidade de detecção de uma causa de falha
Riscos	Representa o número prioritário de risco (NPR)
PlanosAção	Representa a ação a ser tomadas para minimizar os riscos

Quadro 4 – Descrição das entidades

O Quadro 4 apresenta a descrição de cada entidade que foi escolhida para o desenvolvimento do Modelo Conceitual e a Figura 5 mostra as entidades representadas graficamente no Diagrama ER.

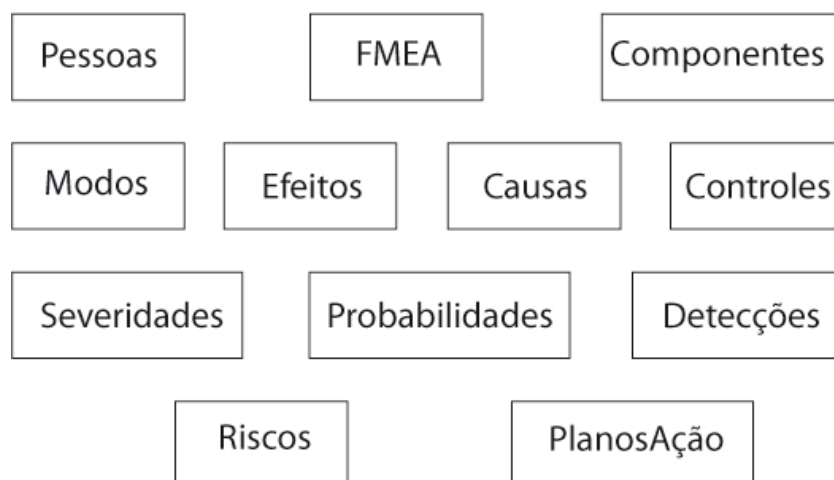


Figura 5 – Entidades do Modelo Conceitual

5.2 IDENTIFICAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS

Tendo sido definidas as entidades que compõem o modelo do banco de dados, foi efetuada a identificação dos relacionamentos entre as entidades identificando também suas cardinalidades máximas. São eles: Responsável (1:N), Equipe (N:N), Analisa (1:N), Pertence (1:N), Falha(1:N), Gera (1:N), Classifica Severidade (1:N), Causado (1:N), Classifica Probabilidade (1:N), Controlada (1:N), Classifica Detecção (1:N), Riscos - Efeito (1:N), Riscos - Causa (1:N), Riscos - Controle (1:N), Riscos - Ação (1:N), Reavalia Severidade (1:N), Reavalia Probabilidade (1:N) e Reavalia Detecção (1:N).

Responsável (1:N): Segundo o requisito de sistema RF03, um FMEA só pode ter uma pessoa responsável. Enquanto não há limitações para a quantidade de FMEA's que uma pessoa pode ser responsável. Este relacionamento constitui-se, portanto, num relacionamento um-para-muitos, onde a cardinalidade máxima 1 corresponde à entidade Responsável enquanto a cardinalidade máxima N (muitos) corresponde à entidade FMEA. A Figura 6 representa graficamente este relacionamento.



Figura 6 – Relacionamento Responsável

Equipe (N:N): O requisito de sistema RF04 diz que uma equipe de FMEA contém várias pessoas e não há limitações para a quantidade de equipes de FMEA que uma pessoa pode participar. Temos configurado neste caso um relacionamento muitos-para-muitos entre as entidades FMEA e Pessoas, pois para cada ocorrência de FMEA poderá haver várias ocorrências de Pessoas e vice-versa. A cardinalidade máxima em ambas as entidades envolvidas neste relacionamento é N. A Figura 7 representa graficamente este relacionamento.



Figura 7 – Relacionamento Equipe

Analisa (1:N): Para atender o requisito RF05 foi definido este relacionamento um-para-muitos entre as entidades FMEA e Componentes. Esta relação indica que um FMEA pode analisar vários componentes enquanto um componente só pode ser tratado em um FMEA. A cardinalidade máxima 1 deste relacionamento refere-se à entidade FMEA e a cardinalidade máxima N refere-se entidade Componentes. A Figura 8 representa graficamente este relacionamento.



Figura 8 – Relacionamento Analisa

Pertence (1:N): Este auto-relacionamento um-para-muitos da entidade Componentes relaciona um componente com seus sub-componentes sendo que um componente pode possuir vários sub-componentes, mas um sub-componente só pode pertencer a um único componente. A Figura 9 representa graficamente este relacionamento.

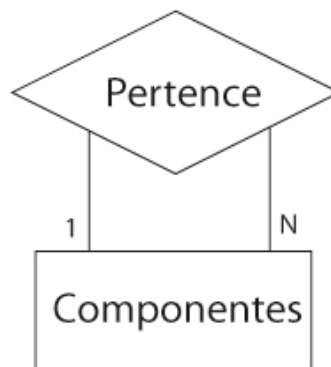


Figura 9 – Relacionamento Pertence

Falha (1:N): Relacionamento um-para-muitos da entidade Componentes para a entidade Modos que atende ao requisito RA01. Um componente pode falhar de diversos modos enquanto um modo de falha pertence a apenas um componente. A cardinalidade máxima do lado Componentes é 1 e a do lado Modos é N. A Figura 10 representa graficamente este relacionamento.



Figura 10 – Relacionamento Falha

Gera (1:N): De acordo com o requisito RA02, um modo de falha pode produzir vários efeitos enquanto um efeito de falha é causado apenas por um modo de falha, configurando, assim, um relacionamento um-para-muitos entre a entidade Modos e a entidade Efeitos, onde o lado Modos possui cardinalidade máxima 1 e o lado Efeitos possui cardinalidade máxima N. A Figura 11 representa graficamente este relacionamento.



Figura 11 – Relacionamento Gera

Classifica Severidade (1:N): Ainda segundo o requisito RA02 o efeito deve possuir um e apenas um indicador de severidade, porém o mesmo grau de severidade pode ser atribuído a outra ocorrência de Efeitos. Logo, foi determinado o relacionamento um-para-muitos entre a entidade Efeitos, que possui cardinalidade máxima N, e a entidade Severidades que possui cardinalidade máxima 1. Este relacionamento atende também ao requisito RC01. A Figura 12 representa graficamente este relacionamento.



Figura 12 – Relacionamento Classifica Severidade

Causado (1:N): O requisito de sistema RA03 afirma que um modo de falha pode ter várias causas enquanto uma causa terá apenas um modo de falha como consequência. Para atender este requisito foi constituído o relacionamento um-para-muitos entre as entidades Modos e Causas. Modos possui cardinalidade máxima 1 e Causas possui cardinalidade máxima N. A Figura 13 representa graficamente este relacionamento.



Figura 13 – Relacionamento Causado

Classifica Probabilidade (1:N): O RA03 define também que deve ser atribuído à causa um indicador de sua probabilidade de ocorrência. Como um mesmo indicador pode ser atribuído a outra causa de falha este relacionamento entre Causas e Probabilidades se define como um-para-muitos e tem sua cardinalidade máxima igual a 1 em Probabilidades é igual a N em Causas. O requisito RC01 é, também, atendido por este relacionamento. A Figura 14 representa graficamente este relacionamento.



Figura 14 – Relacionamento Classifica Probabilidade

Controlada (1:N): Relacionamento um-para-muitos entre as entidades Causas e Controles determinado pelo requisito RA04 que afirma que uma causa de falha pode ser detectada por vários controles enquanto um controle detectará apenas uma causa de falha. Causas possui cardinalidade máxima 1 e Controles tem cardinalidade máxima N. A Figura 15 representa graficamente este relacionamento.



Figura 15 – Relacionamento Controlada

Classifica Detecção (1:N): Relacionamento um-para-muitos entre as entidades Controles e Detecções. Como determinado no requisito RA04, um controle tem apenas um índice de probabilidade de detecção da causa e um índice de probabilidade de detecção da causa pode pertencer a vários controles, o que determina a cardinalidade máxima 1 em Detecções e em Controles a cardinalidade máxima N. O requisito RC01 é, também, atendido por este relacionamento. A Figura 16 representa graficamente este relacionamento.



Figura 16 – Relacionamento Classifica Detecção

Riscos - Efeito (1:N), Riscos - Causa (1:N), Riscos - Controle (1:N): Segundo o requisito RA05, o NPR deve ser calculado utilizando atributos das entidades Efeitos, Causas, e Controles de modo que uma ocorrência de Risco está associado com apenas uma ocorrência da combinação de Efeitos, Causas e Controles. Foi constituído, portanto, o relacionamento um-para-muitos entre a entidade Riscos e cada uma destas entidades de modo que Risco tem cardinalidade máxima N para estas relações enquanto Efeitos, Causas e Controles possuem cardinalidade máxima 1. A Figura 17 representa graficamente estes relacionamentos

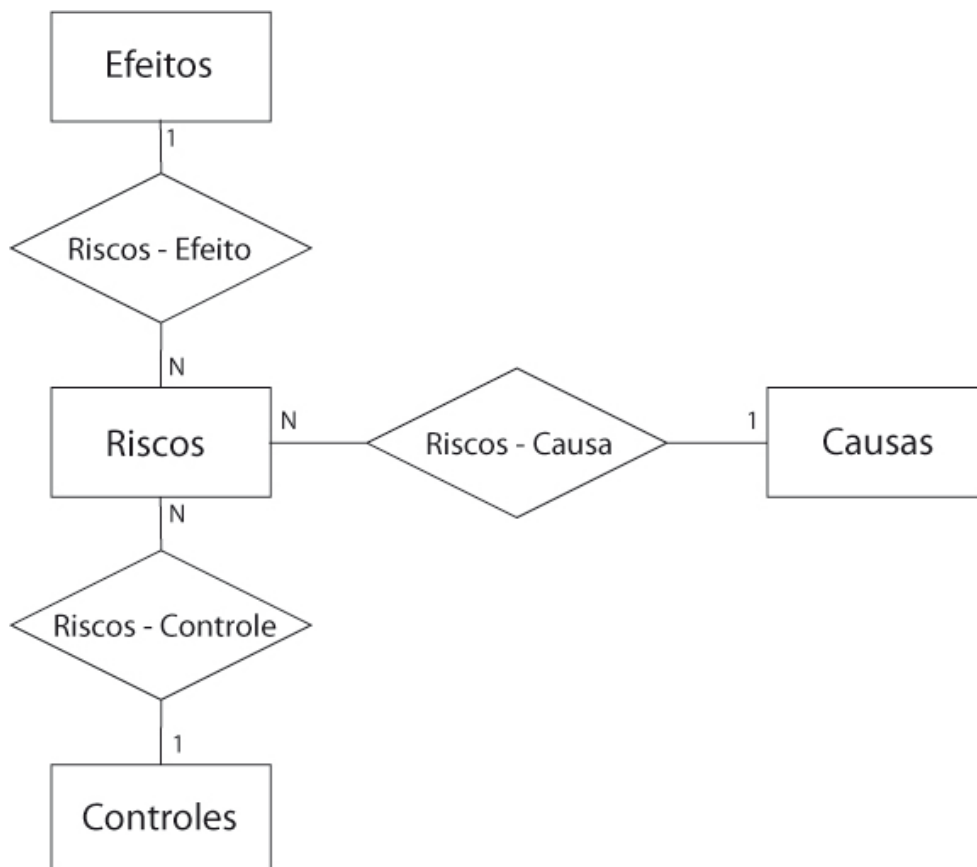


Figura 17 – Relacionamento Riscos - Efeito, Riscos - Causa, Riscos - Controle

Riscos - Ação (1:N): O requisito RP01 determina que várias ações podem ser tomadas para um risco enquanto uma ação pertence apenas a um único risco. Este relacionamento entre as entidades Riscos e PlanosAção atende a este requisito pela

associação um-para-muitos das entidades que o compõem, onde a cardinalidade máxima 1 corresponde à entidade Riscos e a cardinalidade máxima N é correspondente a entidade PlanosAção. A Figura 18 representa graficamente este relacionamento.



Figura 18 – Relacionamento Riscos - Ação

Reavalia Severidade (1:N): Relacionamento um-para-muitos entre as entidades PlanosAção e Severidades. Relaciona as entidades de forma que após a tomada da ação o índice de severidade é reavaliado de forma que a ação tem um índice de severidade enquanto um índice de severidade pode pertencer a várias ações. Onde PlanosAção tem cardinalidade máxima N e Severidades tem cardinalidade máxima 1.

Reavalia Probabilidade (1:N): De forma análoga ao relacionamento anterior, este é um relacionamento um-para-muitos entre as entidades PlanosAção e Probabilidades onde a cardinalidade máxima 1 corresponde a Probabilidades e a cardinalidade máxima N corresponde a PlanosAção.

Reavalia Detecção (1:N): De forma análoga aos dois relacionamentos anteriores, este é um relacionamento um-para-muitos entre as entidades PlanosAção e Detecções onde a cardinalidade máxima 1 corresponde a Detecções e a cardinalidade máxima N corresponde a PlanosAção.

A Figura 19 representa graficamente os três relacionamentos acima citados.

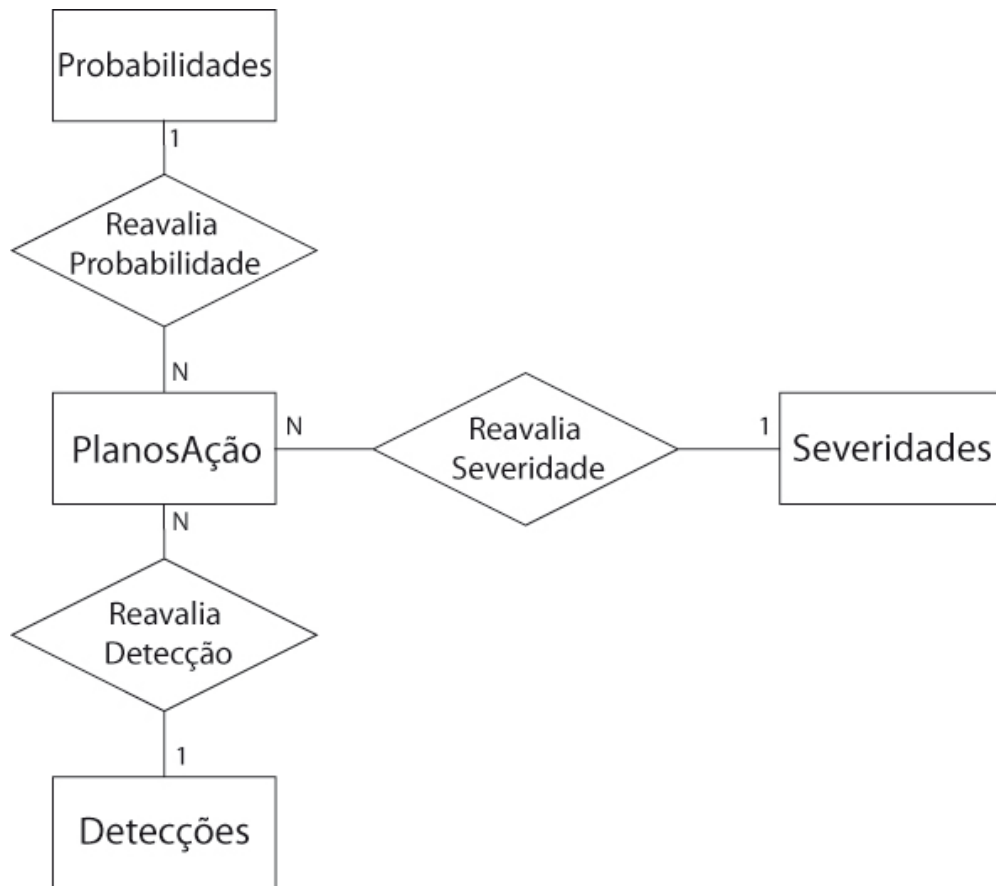


Figura 19 – Relacionamento Reavalia Severidade, Reavalia Probabilidade, Reavalia Detecção

5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS

Em seguida à definição das entidades e de seus relacionamentos, foram determinados os atributos e os identificadores de cada entidade.

O Quadro 5 apresenta a definição dos atributos da entidade FMEA segundo o requisito RF01.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador do FMEA	Sim
Número FMEA	Número da FMEA cadastrado pelo usuário	Não
Data FMEA	Data em que a FMEA foi completada	Não
Data Revisão	Data em que a FMEA foi revisada	Não
Situação	Indica a situação atual do FMEA	Não

Quadro 5 – Atributos de FMEA

O Quadro 6 apresenta a definição dos atributos da entidade Pessoas segundo o requisito RF07.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador da pessoa	Sim
Nome	Nome da pessoa	Não
Cargo	Cargo ocupado pela Pessoa	Não

Quadro 6 – Atributos de Pessoas

O Quadro 7 apresenta a definição dos atributos da entidade Componentes segundo o requisito RB02.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador do Componente	Sim
Nome	Nome do componente	Não
Número	Identificador externo do componente	Não
Função	Descrição das funções do Componente	Não
Tipo	Indica se é um Componente, Subconjunto ou conjunto	Não

Quadro 7 – Atributos de Componentes

O Quadro 8 apresenta a definição dos atributos da entidade Modos segundo o requisito RA01.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador do modo de falha do componente	Sim
Descrição	Descrição do modo de falha	Não

Quadro 8 – Atributos de Modos

O Quadro 9 apresenta a definição dos atributos da entidade Efeitos segundo o requisito RA02.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador do efeito de falha do componente	Sim
Descrição	Descrição do efeito de falha do componente	Não

Quadro 9 – Atributos de Efeitos

O Quadro 10 apresenta a definição dos atributos da entidade Causas segundo o requisito RA03.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador da causa da falha	Sim
Descrição	Descrição da causa da falha	Não

Quadro 10 – Atributos de Causas

O Quadro 11 apresenta a definição dos atributos da entidade Controles segundo o requisito RA04.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador do controle	Sim
Descrição	Descrição do Controle	Não

Quadro 11 – Atributos de Controles

O Quadro 12 apresenta a definição dos atributos da entidade Riscos segundo o requisito RA05.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador do risco	Sim
NPR	Número Prioritário de Risco	Não

Quadro 12 – Atributos de Riscos

O Quadro 13 apresenta a definição dos atributos da entidade PlanosAção segundo o requisito RP01.

Atributo	Descrição	Identificador
Código	Código interno identificador da ação	Sim
Descrição Ação Recomendada	Descrição da ação que deve ser tomada para minimizar o risco de ocorrência da falha	Não
Descrição Ação Realizada	Descrição da ação efetivamente tomada	Não
Data Limite	Data limite prevista para implantação da ação	Não
NPR Resultante	Número de Prioridade de Risco após implantação da ação	Não

Quadro 13 – Atributos de PlanosAção

O Quadro 14 apresenta a definição dos atributos da entidade Severidades segundo o requisito RC01.

Atributo	Descrição	Identificador
Severidade	Valor da gravidade do efeito de falha	Sim
Classificação	Classificação do efeito de falha quanto a gravidade	Não
Descrição	Descrição da classificação da severidade do efeito de falha	Não

Quadro 14 – Atributos de Severidades

O Quadro 15 apresenta a definição dos atributos da entidade Probabilidades segundo o requisito RC01.

Atributo	Descrição	Identificador
Probabilidade	Grau de probabilidade de ocorrência da causa de falha	Sim
Classificação	Classificação da causa de falha quanto a probabilidade de ocorrência	Não
Descrição	Descrição da classificação da probabilidade de ocorrência da causa de falha	Não

Quadro 15 – Atributos de Probabilidades

O Quadro 16 apresenta a definição dos atributos da entidade Detecções segundo o requisito RC01.

Atributo	Descrição	Identificador
Detecção	Grau de probabilidade de detecção da causa de falha	Sim
Classificação	Classificação da probabilidade de detecção da causa de falha por um controle	Não
Descrição	Descrição da classificação da probabilidade de detecção da causa de falha por um controle	Não

Quadro 16 – Atributos de Detecções

6 ELABORAÇÃO DO MODELO LÓGICO DO BANCO DE DADOS

Segundo Heuser (1998), “[...] o modelo lógico de banco de dados representa a estrutura de um banco de dados conforme vista pelo usuário do Sistema Gerenciador de Banco de Dados”. Até o momento o modelo desenvolvido apresentava um baixo nível de detalhamento. Ainda segundo Heuser (1998), “[...] a etapa de projeto lógico objetiva transformar o modelo conceitual obtido na primeira fase em um modelo lógico”.

Foi necessário, neste momento, definir o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) utilizado, pois nesta etapa características do SGBD são consideradas.

O sistema gerenciador de banco de dados SGBD escolhido para a continuação do projeto da base de dados foi o SQL SERVER pelos seguintes motivos:

- O SQL Server é hoje uma referência de SGDB relacional para desenvolvedores de softwares;
- Tem uma documentação vasta e de fácil acesso; e
- A sua versão 2005 Express do sistema é gratuita.

6.1 DETALHAMENTO DOS ATRIBUTOS

Dando continuidade ao desenvolvimento do modelo fez-se necessário converter as entidades do modelo conceitual em tabelas do banco de dados, e os atributos das entidades foram convertidos em campos das tabelas. Foi realizado também neste momento detalhamento dos atributos definindo seu domínio, ou tipo de dado e a obrigatoriedade de seu preenchimento.

O Quadro 17 apresenta a conversão das entidades Pessoas e FMEA e seus respectivos atributos em tabelas e campos no banco de dados.

Entidade	Atributo	Tabela	Campo	Tipo de Dado	Chave Primária	Obrigatório
Pessoas	Código	Pessoas	cdPessoa	Int	Sim	Sim
	Nome		NomePessoa	Varchar(100)	Não	Sim
	Cargo		Cargo	Varchar(50)	Não	Não
FMEA	Código	FMEA	cdFMEA	Int	Sim	Não
	Número		NumeroFMEA	Varchar(20)	Não	Sim
	Data FMEA		DataFMEA	DateTime	Não	Não
	Data Revisão		DataRevisão	DateTime	Não	Não
	Situação		Situacao	Char(1)	Não	Sim

Quadro 17 – Conversão de Pessoas e FMEA

Os campos indicados como chaves primárias das tabelas correspondem aos atributos identificadores das respectivas entidades convertidas.

No SQL Server, o tipo de dado *int* corresponde a número inteiro, *varchar* corresponde a um conjunto de caracteres de tamanho variável, enquanto *char* corresponde a um conjunto de caracteres de tamanho fixo. O valor entre parênteses corresponde à quantidade máxima de caracteres permitidos. Finalmente o tipo *datetime* refere-se à data e hora.

A seguir o Quadro 18 mostra a conversão da entidade Componentes e seus atributos.

Entidade	Atributo	Tabela	Campo	Tipo de Dado	Chave Primária	Obrigatório
Componentes	Código	Componentes	cdComponente	Int	Sim	Sim
	Nome		NomeComponente	Varchar(100)	Não	Sim
	Número		idComponente	Varchar(20)	Não	Sim
	Função		Funcao	Varchar(1000)	Não	Sim
	Tipo		Tipo	Char(1)	Não	Não

Quadro 18 – Conversão de Componentes

Segundo o requisito RB04 o campo idComponente configura-se neste caso como chave alternativa da tabela Componentes. Adicionou-se, portanto, uma restrição de unicidade ao campo.

O Quadro 19 apresenta as conversões das entidades Modos, Efeitos, Causas e Controles em tabelas e seus respectivos atributos em campos.

Entidade	Atributo	Tabela	Campo	Tipo de Dado	Chave Primária	Obrigatório
Modos	Código	Modos	cdModo	Int	Sim	Sim
	Descrição		DescModo	Varchar(1000)	Não	Sim
Efeitos	Código	Efeitos	cdEfeito	Int	Sim	Sim
	Descrição		DescEfeito	Varchar(1000)	Não	Sim
Causas	Código	Causas	cdCausa	Int	Sim	Sim
	Descrição		DescCausa	Varchar(1000)	Não	Sim
Controles	Código	Controles	cdControle	Int	Sim	Sim
	Descrição		DescControle	Varchar(1000)	Não	Sim

Quadro 19 – Conversão de Modos, Efeitos, Causas e Controles

O Quadro 20 apresenta as conversões das entidades Riscos e PlanosAção.

Entidade	Atributo	Tabela	Campo	Tipo de Dado	Chave Primária	Obrigatório
Riscos	Código	Riscos	cdRisco	Int	Sim	Sim
	NPR		NPR	Int	Não	Não
Planos Ação	Código	PlanosAcao	cdPlanoAcao	Int	Sim	Sim
	Ação Recomendada		AcaoRecomendada	Varchar(1000)	Não	Não
	Ação Realizada		AcaoRealizada	Varchar(1000)	Não	Não
	Data Limite		DataLimite	DateTime	Não	Não
	NPR Resultante		NPRResult	Int	Não	Não

Quadro 20 – Conversão de Riscos e PlanosAção

Finalmente, o Quadro 21 apresenta a conversão das entidades e atributos de Severidades, Probabilidades, e Detecções para tabelas e campos no banco de dados.

Entidade	Atributo	Tabela	Campo	Tipo de Dado	Chave Primária	Obrigatório
Severidades	Severidade	Severidades	Severidade	Int	Sim	Sim
	Classificação		ClassifSeveridade	Varchar(50)	Não	Sim
	Descrição		DescSeveridade	Varchar(150)	Não	Sim
Probabilidades	Probabilidade	Probabilidades	Probabilidade	Int	Sim	Sim
	Classificação		ClassifProbabilidade	Varchar(50)	Não	Sim
	Descrição		DescProbabilidade	Varchar(150)	Não	Sim
Detecções	Detecção	Detecções	Deteccao	Int	Sim	Sim
	Classificação		ClassifDeteccao	Varchar(50)	Não	Sim
	Descrição		DescDeteccao	Varchar(150)	Não	Sim

Quadro 21 – Conversão de Severidades, Probabilidades, Detecções

O Anexo A apresenta os comandos SQL de criação das tabelas no banco de dados.

6.2 CRIAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS

A criação dos relacionamentos consistiu em definir corretamente as chaves estrangeiras das tabelas e a possibilidade de criação de novas tabelas. Nesta etapa do projeto foram definidas também as cardinalidades mínimas dos relacionamentos.

A entidade FMEA faz parte de um relacionamento muitos-para-muitos com a entidade Pessoas. Para este tipo de relacionamento é necessário criar uma tabela de associação que receberá duas chaves estrangeiras correspondentes as chaves primárias de cada tabela envolvida no relacionamento. A chave primária da tabela associativa será composta por essas chaves estrangeiras. À tabela associativa foi dada o nome de EquipesFMEA.

As entidades FMEA e Pessoas possuem ainda um segundo relacionamento entre si do tipo um-para-muitos. Sendo assim a chave primária da tabela Pessoas (lado “Um”) foi exportada para a tabela FMEA (lado “Muitos”) como chave estrangeira.

Como é um requisito do banco de dados que toda ocorrência de FMEA esteja obrigatoriamente associado a uma ocorrência de Pessoas, este relacionamento possui cardinalidade mínima 1 na entidade FMEA. Porém, nem toda Pessoa é obrigatoriamente responsável por um FMEA, logo à entidade Pessoas foi atribuído cardinalidade mínima 0.

A entidade FMEA compõe ainda um relacionamento um-para-muitos com a entidade Componentes. Por FMEA se tratar do lado “Um” deste relacionamento sua chave primária foi recebida como chave estrangeira em Componentes que compõe o lado “Muitos”. O FMEA, pelo Requisito RF05 analisa obrigatoriamente um Componente, logo, o lado “Muitos” deste relacionamento tem cardinalidade mínima 1.

Componentes possui ainda um auto-relacionamento sem obrigatoriedade um-para-muitos que faz a relação de um componente com seus sub-componentes. Como o relacionamento um-para-muitos entre entidades distintas, este auto-relacionamento se resolve pela adição da chave primária da tabela Componentes como chave estrangeira dela mesma.

Por não ter obrigatoriedade de relacionamento o lado “Muitos” tem cardinalidade mínima 0 e o lado 1 cardinalidade mínima 1.

Outro relacionamento da entidade Componentes se dá com a entidade Modos na configuração um-para-muitos, sendo Modos o lado “Muitos”. A chave primária de Componentes foi, portanto, referenciada na tabela Modos.

O modo está obrigatoriamente associado a um Componente. Ambos os lados do relacionamento têm, portanto cardinalidade mínima 1.

A entidade Modos tem relacionamentos com outras duas entidades, Efeitos e Causas. Ambos se configuram como relacionamento um-para-muitos tendo a entidade Modos como o lado “Um”. Assim a chave primária da tabela Modos foi adicionada como chave estrangeira nas respectivas tabelas do lado “Muitos”.

Efeitos e Causas são obrigatoriamente relacionados a Modos, o que implica na cardinalidade mínima 1 para ambas as entidade integrantes do relacionamento entre Modos e Efeitos e também entre Modos e Causas.

A entidade Efeitos é também o lado “Muitos” no relacionamento um-para-muitos com a entidade Severidades, que exporta sua chave primária para ser referenciada como chave estrangeira em Efeitos.

De forma análoga a entidade Probabilidades exporta sua chave primária como chave estrangeira de Causas devido ao relacionamento um-para-muitos entre as mesmas.

Não há obrigatoriedade nos relacionamento com as tabelas de critérios de classificação, pois a avaliação pode ser feita em um segundo momento.

A entidade Causas compõe outro relacionamento um-para-muitos, desta vez com a entidade Controles que se apresenta como o lado “Muitos” e, portanto recebeu a chave primária da tabela Causas como chave estrangeira.

Um Controle deve obrigatoriamente estar associado a uma Causa e tem, portando cardinalidade mínima 1 em seu lado do relacionamento.

Um relacionamento um-para-muitos se apresenta também entre as entidades Controles e Deteccoes, onde Controles corresponde ao lado “Muitos” do relacionamento enquanto Severidades representa o lado “um” deste mesmo relacionamento. Isso implica na adição da chave primária da tabela Detecções como chave estrangeira na tabela Controles.

Pelo mesmo motivo que os relacionamentos entre Severidades e Efeitos e Probabilidade e Causas, o relacionamento entre Deteccoes e Controles é não obrigatório. A cardinalidade mínima 0 é assumida por Controles neste relacionamento.

A entidade Riscos se relaciona com as entidades Efeitos, Causas e Controles. Todos os três relacionamentos são do tipo um-para-muitos e têm a entidade Riscos representando o lado “Muitos” destes relacionamentos. A tabela Riscos recebe como chave estrangeira as chaves primárias de cada uma das entidades com as quais se relaciona.

Uma ocorrência da entidade Risco tem obrigatoriamente uma ocorrência das entidades Efeitos, Causas e Controles associados a ele. Logo, pra cada relacionamento a entidade risco assume cardinalidade mínima 1.

O relacionamento um-para-muitos entre as entidades Riscos e PlanosAcao se resolveu pela adição da chave primária da tabela Riscos (lado “Um”) como chave estrangeira da tabela PlanosAcao (lado “Muitos”).

A tabela PlanosAcao recebeu também as chaves primárias das tabelas Severidades, Probabilidades, e Detecções, pois a entidade PlanosAcao compõe o lado “Muitos” nos relacionamentos um-para-muitos com as tabelas mencionadas.

A entidade PlanosAcao se relaciona também com a entidade Pessoas para identificar o responsável pela a o. Este relacionamento se configura como do tipo um-para-muitos com obrigatoriedade. Onde a tabela PlanosAcao (lado “Muitos”) possui cardinalidade mínima 1 e recebe a chave primária da tabela Pessoas como chave estrangeira.

O Anexo B apresenta os comandos SQL de atualiza o das tabelas para implementa o dos relacionamentos.

A Figura 20 apresenta, finalmente, o diagrama do modelo lógico completo.

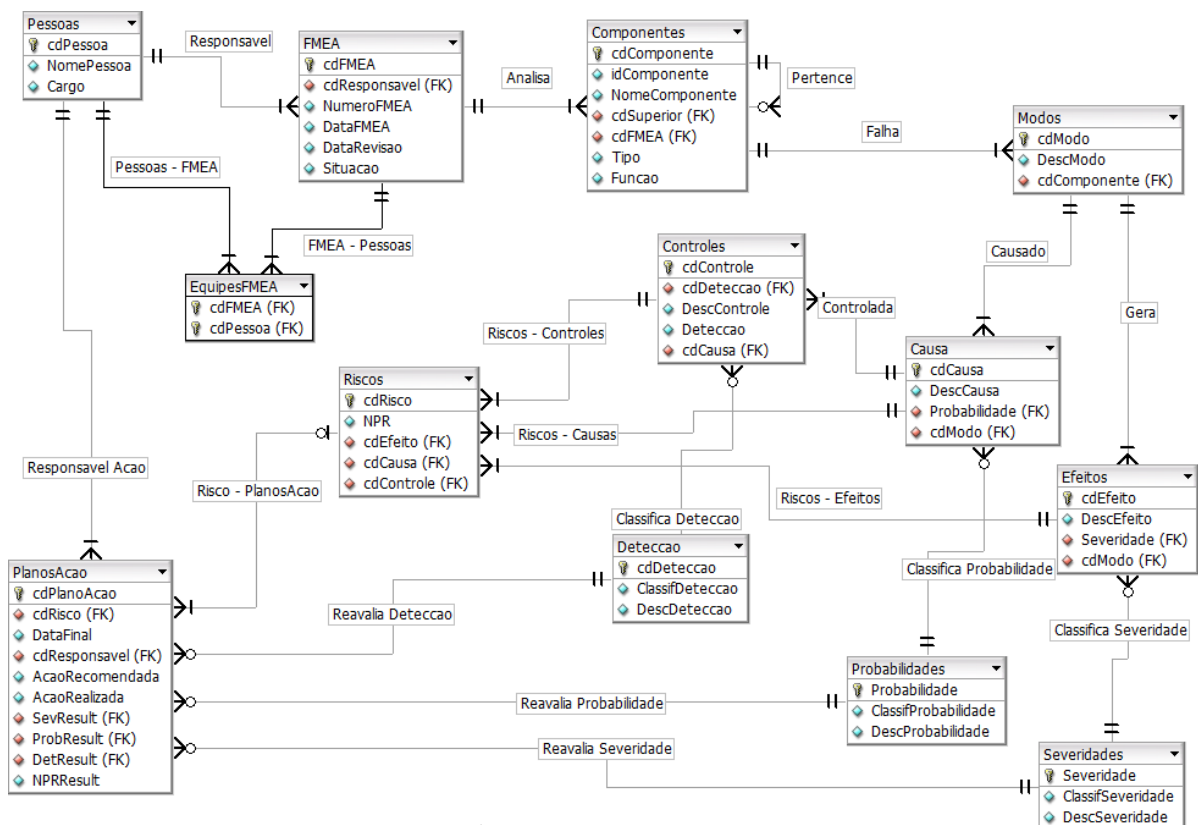








Figura 20 – Diagrama do modelo lógico completo

No diagrama estão representadas todas as tabelas com suas respectivas colunas, indicações de chaves primárias e chaves estrangeiras, todos os relacionamentos entre as tabelas com suas cardinalidades máximas e mínimas.

O Quadro 22 apresenta uma legenda com as notações utilizadas no diagrama do modelo lógico.

Notação	Descrição
	Indicação de Chave Primária
	Indicação de Chave Estrangeira
	Cardinalidade mínima 1 e máxima N no relacionamento
	Cardinalidade mínima 1 e máxima 1 no relacionamento
	Cardinalidade mínima 0 e máxima 1 no relacionamento
	Cardinalidade mínima 0 e máxima N no relacionamento

Quadro 22 – Notações utilizadas no diagrama do modelo conceitual

7 CONCLUSÃO

As abordagens Entidade Relacionamento e Relacional para a modelagem da realidade do desenvolvimento da FMEA mostraram-se eficientes visto que os modelos, Conceitual e Lógico, foram conseguidos havendo a necessidade somente do uso de relacionamentos binários, ou seja, sem a necessidade de usar recursos mais avançados de modelagem de dados.

Há ainda a necessidade de validação do banco de dados quanto ao aspecto temporal e quanto às passagens pelas formas normais. Porém, melhorias no modelo já podem ser sugeridas como a implementação de uma forma de guardar um histórico dos Responsáveis pelo FMEA, visto que a FMEA é um documento vivo, ou seja, uma vez realizada uma análise, esta deve ser sempre revisada.

Outra melhoria para o modelo seria a substituição dos relacionamentos 1:N entre as entidades Modos e Componentes por relacionamentos N:N, essa substituição também pode ocorrer entre as entidades Componentes e FMEA. Com esta modificação seria possível evitar a digitação redundante de modos com a mesma descrição para diferentes componentes e ainda iria facilitar uma integração com um possível banco de dados de componentes existente.

8 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade - Terminologia. Rio de Janeiro, 1994.
- HEUSER, C. A. **Projeto de Banco de Dados**. 4. ed. Porto Alegre: Sagra/Luzzatto, 1998.
- MICROSOFT CORPORATION. **SQL Server 2005 Express Edition**. Microsoft: 2005.
- MOHR, R. R. **Failure Modes and Effects Analysis**. JE Jacobs Sverdrup, 1994.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção**: Função estratégica. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- ROCHA, S. C. **A aplicação do D-FMEA na cadeia produtiva do setor automobilístico**: em estudos de casos múltiplos. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2006.
- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE J1739**: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Modes and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA). SAE International: Warrendale, 2002.
- TOLEDO, J.C. e AMARAL, D.C. **FMEA: Análise do Tipo e Efeito de Falha**. In: GEPEQ – Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade. Disponível em: <http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>. Acesso em: 07 junho 2009.

ANEXOS

ANEXO A – SCRIPT DE CRIAÇÃO DAS TABELAS NO BANCO DE DADOS

```

-- Entidade Pessoas
CREATE TABLE Pessoas(
    cdPessoa int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    NomePessoa varchar(100) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdPessoa)
)
-- Entidade FMEA
CREATE TABLE FMEA(
    cdFMEA int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    NumeroFMEA varchar(20) NOT NULL,
    DataFMEA datetime NULL,
    DataRevisao datetime NULL,
    Situacao char(1) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdFMEA)
    UNIQUE (NumeroFMEA)
)
-- Entidade Componentes
CREATE TABLE Componentes(
    cdComponente int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    NomeComponente varchar(100) NOT NULL,
    idComponente varchar(20) NOT NULL,
    Tipo char(1) NULL,
    Funcao varchar(1000) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdComponente)
    UNIQUE (idComponente)
)
-- Entidade Modos
CREATE TABLE Modos(
    cdModo int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    DescModo varchar(1000) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdModo)
)
-- Entidade Efeitos
CREATE TABLE Efeitos(
    cdEfeito int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    DescEfeito varchar(1000) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdEfeito)
)
-- Entidade Causas
CREATE TABLE Causas(
    cdCausa int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    DescCausa varchar(1000) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdCausa)
)
-- Entidade Controles
CREATE TABLE Controles(
    cdControle int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    DescControle varchar(400) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdControle)
)
-- Entidade Riscos
CREATE TABLE Riscos(
    cdRisco int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    NPR int NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdRisco)
)

```

```
-- Entidade PlanosAcao
CREATE TABLE PlanosAcao(
    cdAcao int IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    DataFinal datetime NOT NULL,
    AcaoRecomendada varchar(500) NOT NULL,
    AcaoRealizada varchar(500) NULL,
    NPRResult int NULL,
    PRIMARY KEY (cdAcao)
)
-- Entidade Severidades
CREATE TABLE Severidades(
    Severidade int NOT NULL,
    ClassifSeveridade varchar(50) NOT NULL,
    DescSeveridade varchar(150) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (Severidade)
)
-- Entidade Probabilidades
CREATE TABLE Probabilidades(
    Probabilidade int NOT NULL,
    ClassifProbabilidade varchar(50) NOT NULL,
    DescProbabilidade varchar(150) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (Probabilidade)
)
-- Entidade Detecoes
CREATE TABLE Detecoes(
    Detecao int NOT NULL,
    ClassifDetecao varchar(50) NOT NULL,
    DescDetecao varchar(150) NOT NULL,
    PRIMARY KEY (Detecao)
)
```

ANEXO B – SCRIPT DE IMPLEMENTAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS NO BANCO DE DADOS

```

-- Adiciona campo cdPessoa em FMEA que referenciará a tabela Pessoas
ALTER TABLE FMEA
    ADD cdPessoa int NOT NULL

-- Adiciona a cdPessoa a função de chave estrangeira na tabela FMEA
ALTER TABLE FMEA
    ADD FOREIGN KEY (cdPessoa) REFERENCES Pessoas

-- Cria tabela Associativa
CREATE TABLE EquipesFMEA (
    cdPessoa int NOT NULL,
    cdFMEA int NOT NULL,
    PRIMARY KEY (cdPessoa, cdFMEA)
)

-- Adiciona à cdPessoa a função de chave estrangeira na tabela EquipesFMEA
-- que referencia a tabela Pessoas
ALTER TABLE EquipesFMEA
    ADD FOREIGN KEY (cdPessoa) REFERENCES Pessoas

-- Adiciona à cdFMEA a função de chave estrangeira na tabela EquipesFMEA
-- que referencia a tabela FMEA
ALTER TABLE EquipesFMEA
    ADD FOREIGN KEY (cdFMEA) REFERENCES FMEA

-- Adiciona campo cdFMEA
ALTER TABLE Componentes
    ADD cdFMEA int NOT NULL

-- Atribui a ele a função de chave estrangeira
ALTER TABLE Componentes
    ADD FOREIGN KEY (cdFMEA) REFERENCES (FMEA)

-- Adiciona campo cdSuperior
ALTER TABLE Componentes
    ADD cdSuperior int NULL

-- Atribui a ele a função de chave estrangeira
ALTER TABLE Componentes
    ADD FOREIGN KEY (cdSuperior) REFERENCES (Componentes)

-- Adiciona campo cdComponente
ALTER TABLE Modos
    ADD cdComponente int NOT NULL

-- Atribui a ele a função de chave estrangeira
ALTER TABLE Modos
    ADD FOREIGN KEY (cdComponente) REFERENCES (Componentes)

-- EFEITOS:
-- Adiciona campo cdModo
ALTER TABLE Efeitos
    ADD cdModo int NOT NULL

-- Adiciona campo Severidade
ALTER TABLE Efeitos
    ADD Severidade int NULL

```

```

-- Atribui a ele a função de chave estrangeira
ALTER TABLE Efeitos
    ADD FOREIGN KEY (cdModo) REFERENCES (Modos)

-- Atribui a Severidade a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Severidades
ALTER TABLE Efeitos
    ADD FOREIGN KEY (Severidade) REFERENCES (Severidades)

-- CAUSAS:
-- Adiciona campo cdModo
ALTER TABLE Causas
    ADD cdModo int NOT NULL

-- Adiciona campo Probabilidade
ALTER TABLE Causas
    ADD Probabilidade int NULL

-- Atribui a ele a função de chave estrangeira
ALTER TABLE Causas
    ADD FOREIGN KEY (cdModo) REFERENCES (Modos)

-- Atribui à Probabilidade a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Probabilidades
ALTER TABLE Causas
    ADD FOREIGN KEY (Probabilidade) REFERENCES (Probabilidades)

-- Adiciona campo cdCausa
ALTER TABLE Causas
    ADD cdCausa int NOT NULL

-- Adiciona campo Deteccao
ALTER TABLE Controles
    ADD Deteccao int NULL

-- Atribui a ele a função de chave estrangeira
ALTER TABLE Controles
    ADD FOREIGN KEY (cdCausas) REFERENCES (Causas)

-- Atribui a Deteccao a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Deteccoes
ALTER TABLE Controles
    ADD FOREIGN KEY (Deteccao) REFERENCES (Deteccoes)

-- Adiciona campo cdEfeito
ALTER TABLE Riscos
    ADD cdEfeito int NOT NULL

-- Adiciona campo cdCausa
ALTER TABLE Riscos
    ADD cdCausa int NOT NULL

-- Adiciona campo cdControle
ALTER TABLE Riscos
    ADD cdControle int NOT NULL

-- Atribui a cdEfeito a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Efeitos
ALTER TABLE Riscos
    ADD FOREIGN KEY (cdEfeito) REFERENCES (Efeitos)

```

```

-- Atribui a cdCausa a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Causas
ALTER TABLE Riscos
    ADD FOREIGN KEY (cdCausa) REFERENCES (Causas)

-- Atribui a cdControle a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Controles
ALTER TABLE Riscos
    ADD FOREIGN KEY (cdControle) REFERENCES (Controles)

-- O conjunto cdEfeito, cdCausa, cdControle produz apenas um Risco
ALTER TABLE Riscos
    ADD UNIQUE (cdEfeito, cdCausa, cdControle) REFERENCES (Controles)

-- Adiciona campo cdFMEA
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD cdFMEA int NOT NULL

-- Atribui a cdFMEA a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela FMEA
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD FOREIGN KEY (cdFMEA) REFERENCES (FMEA)

-- Adiciona campo cdResponsavel
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD cdResponsavel int NOT NULL

-- Atribui a cdResponsavel a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Pessoas
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD FOREIGN KEY (cdResponsavel) REFERENCES (Pessoas)

-- Adiciona campo SevResult
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD SevResult int NULL

-- Adiciona campo ProbResult
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD ProbResult int NULL

-- Adiciona campo DetResult
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD DetResult int NULL

-- Atribui a SevResult a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Severidades
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD FOREIGN KEY (SevResult) REFERENCES (Severidades)

-- Atribui a ProbResult a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Probabilidades
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD FOREIGN KEY (ProbResult) REFERENCES (Probabilidades)

-- Atribui a DetResult a função de chave estrangeira
-- que referencia a tabela Detecoes
ALTER TABLE PlanosAcao
    ADD FOREIGN KEY (DetResult) REFERENCES (Detecoes)

```