



**Milena Cabral Aguiar**

**Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e  
exemplificação**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Fernanda Maria Pereira Raupp

Rio de Janeiro  
Janeiro de 2014



**Milena Cabral Aguiar**

**Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Fernanda Maria Pereira Raupp**

Orientadora

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Stella Regina Reis da Costa**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

**Prof. Valeria Campos Gomes de Souza Miccuci**

CASNAV - Marinha do Brasil

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial de Pós Graduação e Pesquisa  
do Centro Técnico e Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 31 de janeiro de 2014

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e da orientadora.

### **Milena Cabral Aguiar**

Graduou-se em Engenharia de Produção na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2008. Qualificou-se em Engenharia de Suprimentos pelo Prominp (Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural. Atuou no setor privado, no mercado de Óleo e Gás como Coordenadora de Projetos, Líder em Análise de Causa Raiz e Engenheira de Qualidade em Fornecedor. Atua como Engenheira de Melhoria de Processo, com foco em Lean Manufacturing, no mercado de Óleo e Gás.

#### Ficha Catalográfica

Aguiar, Milena Cabral

Análise de causa raiz: levantamento dos métodos e exemplificação / Milena Cabral Aguiar; orientadora: Fernanda Maria Pereira Raupp. – 2014.

153 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2014.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Análise de causa raiz. 3. Causa raiz. I. Raupp, Fernanda Maria Pereira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

À Helenita, Fany (In Memoriam) e Thiego,  
pelo amor, carinho e força, ontem, hoje e sempre.

## Agradecimentos

À minha mãe, pela educação, atenção, carinho e esforço sem medidas e em todas as horas.

Ao meu noivo, pela compreensão, apoio e palavras de incentivo.

À minha orientadora, Professora Fernanda Maria Pereira Raupp, pela disponibilidade, dedicação e confiança para a realização deste trabalho.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelos auxílios através de bolsa que foram concedidos.

Aos meus colegas da PUC-Rio. Em especial às amigas Taciana, Cristina e Katharine.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

A todos os amigos e familiares, pelas orações, compreensão e pensamentos positivos para a conclusão do Mestrado.

A Deus, por me inspirar, me dar forças e me impulsionar, dia após dia, a realizar este importante projeto profissional e de vida.

## Resumo

Aguiar, Milena Cabral; Raupp, Fernanda Maria Pereira (Orientadora). **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação.** Rio de Janeiro, 2014. 153p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Grandes desafios surgiram para as organizações devido ao avanço tecnológico ocorrido nos últimos tempos. Qualidade no produto não é mais um meio para se obter vantagem competitiva, mas sim uma necessidade para as organizações manterem seus clientes. Deste modo, formas para que a qualidade esteja cada vez mais presente nas organizações se fazem necessárias. Neste contexto, os objetivos do presente trabalho são estudar os principais métodos de análise de causa raiz da literatura, apresentando suas etapas, características, peculiaridades, comparação, e exemplificar a aplicação desses métodos. Uma vez conhecidos pelas organizações, a aplicação de tais métodos pode prevenir recorrência de falhas, levando às organizações a um nível superior de qualidade, aumento de produtividade, e consequentemente maior satisfação dos clientes. A pesquisa foi iniciada pelo levantamento e estudo dos métodos apontados em referências acadêmicas, Método dos 5 por quês, Diagrama de Ishikawa, Análise de Barreira de Controle, Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE), Análise de Árvore de Falhas (AAF) e Mapa de Causa Raiz™, seguidos da apresentação de um exemplo de falha elaborado no contexto de uma indústria manufatureira metal-mecânica. Cada método foi aplicado ao problema de não conformidade. Os resultados dos métodos foram comparados e em seguida as vantagens e desvantagens dos métodos foram destacadas. Os Métodos 5 por quês, Diagrama de Ishikawa e Análise de Barreira de Controle foram considerados mais adequados para problemas considerados simples em uma organização industrial. Já para problemas considerados complexos, cujas causas raízes não são facilmente identificadas, os métodos GFCE, AAF e Mapa de Causa Raiz™ foram considerados os mais indicados.

## Palavras-chave

Operação falha; análise de causa raiz; diagrama de Ishikawa; 5 por quês.

## Abstract

Aguiar, Milena Cabral; Raupp, Fernanda Maria Pereira (Advisor). **Root Cause Analysis: survey methods and exemplification**. Rio de Janeiro, 2014. 153p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Great challenges emerged for organizations due to technological advance occurred in recent times. Product quality is no longer a means to gain competitive advantage, but a necessity for organizations to keep their customers. Thus, ways in which quality is increasingly present in organizations are necessary to facilitate its implementation. In this context, the objectives of this work are to study the major methods of root cause analysis of the literature, with its stages, features, peculiarities, comparison, and exemplify the application of these methods. Once known by the organizations, the application of such methods can prevent recurrence of failures, leading organizations to a higher level of quality, increased productivity, and thus increased customer satisfaction. This research was initiated by the survey and study of methods aimed at academic references, 5 Whys, Ishikawa Diagram, Control Barrier Analysis, Event and Causal Factor Charting, Fault Tree Analysis and Root Cause Map™, followed by the presentation of an example fault developed in the context of a metalworking manufacturing. Each method was applied to the problem of non-compliance. The results of both methods are compared and then the advantages and disadvantages of both methods are highlighted. 5 Whys, Ishikawa Diagram and Control Barrier Analysis were considered appropriated to simple problems in an industrial organization. In complex problems cases, which root causes are not easily identified, Event and Causal Factor Charting, Fault Tree Analysis and Root Cause Map™ were considered more appropriated.

## Keywords

Operation failure; root cause analysis; Ishikawa; 5 whys.

# Sumário

<b>1. Introdução</b>	<b>14</b>
1.1. Contextualização	14
1.2. Tema da pesquisa e seus objetivos	15
1.3. Justificativa do tema	15
1.4. Metodologia de desenvolvimento do trabalho	17
1.5. Limitações do trabalho	18
1.6. Estrutura do trabalho	19
<b>2. Referencial teórico</b>	<b>21</b>
2.1. Qualidade	21
2.1.1. Planejamento da Qualidade	23
2.1.2. Controle da Qualidade	24
2.1.3. Melhoria da Qualidade	26
2.1.4. Relacionamento trilogia Juran	27
2.1.5. O que não é qualidade	29
2.2. Problema	29
2.2.1. Inter-relação entre definição de problema e a investigação da causa raiz	33
2.3. Métodos de Análise e Solução de Problemas (MASPs)	34
2.3.1. QC Story	36
2.3.2. 8D (TOPS)	36
2.3.3. Método de Rooney e Hopen (2004)	38
2.4. Análise de Causa Raiz (ACR)	39
2.4.1. Aspectos gerais	39
2.4.2. Quando realizar análise de causa raiz	40
2.4.3. Tipos de causa e causa raiz	41
2.4.4. Eliminação da recorrência de problemas através da ACR	42
2.4.5. Oportunidades de melhoria através da ACR	43
2.4.6. Ações corretivas relacionadas à causa raiz	44
2.4.7. Grupos de trabalho e papel do moderador	44
2.4.8. Barreiras para uma ACR efetiva	46
<b>3. Métodos de Análise de Causa Raiz</b>	<b>51</b>
3.1. Método dos 5 por quês	51
3.2. Diagrama de Ishikawa	55
3.3. Ferramentas de Análise de Causa Raiz segundo Ammerman (1998)	58
3.3.1. Análise de Barreira de Controle segundo Ammerman (1998)	59
3.3.2. Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE) segundo Ammerman (1998)	60
3.3.3. Análise de Árvore de Falha	64
3.3.4. Lista de Fatores Causais segundo Ammerman (1998)	67
3.4. Mapa de Causa Raiz™ da ABS Consulting	72
3.5. Taproot®	85



<b>4. Exemplificação dos métodos ACR</b>	<b>89</b>
4.1. Problemática inicial	89
4.2. ACR através do Método dos 5 por quês	91
4.3. ACR através do Diagrama de Ishikawa	93
4.4. ACR através das Ferramentas de Análise de Causa Raiz segundo Ammerman (1998)	96
4.4.1. ACR através da Análise de Barreira de Controle	96
4.4.2. ACR através do Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE)	99
4.4.3. ACR através da Análise de Árvore de Falha (AAF)	104
4.5. ACR através do Mapa de Causa Raiz™	110
<b>5. Discussão sobre os resultados</b>	<b>115</b>
<b>6. Comparação dos métodos de análise de causa raiz</b>	<b>118</b>
6.1. Método dos 5 por quês	118
6.1.1. Vantagens	118
6.1.2. Desvantagens	118
6.2. Diagrama de Ishikawa	119
6.2.1. Vantagens	119
6.2.2. Desvantagens	119
6.3. Análise de Barreira de Controle	119
6.3.1. Vantagens	119
6.3.2. Desvantagens	120
6.4. Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE)	120
6.4.1. Vantagens	120
6.4.2. Desvantagens	120
6.5. Análise de Árvore de Falha (AAF)	120
6.5.1. Vantagens	120
6.5.2. Desvantagens	121
6.6. Mapa de Causa Raiz™	121
6.6.1. Vantagens	121
6.6.2. Desvantagens	121
6.7. Quadro comparativo dos métodos de análise de causa raiz e algumas características	122
<b>7. Conclusões</b>	<b>124</b>
<b>8. Referências bibliográficas</b>	<b>127</b>
<b>Anexo I – Lista expandida de categorias de fatores causais, segundo Ammerman (1998)</b>	<b>130</b>
<b>Anexo II – Elementos do Mapa de Causa Raiz™, segundo Heuvel et al. (2008)</b>	<b>149</b>

## Lista de figuras

Figura 1: Esquema da metodologia de desenvolvimento do trabalho (elaborado pela autora)	17
Figura 2: Diagrama Ilustrativo sobre MASP e ACR (elaborado pela autora)	19
Figura 3: Ciclo PDCA de controle de processos (CAMPOS, 1992)	25
Figura 4: Diagrama da trilogia Juran (JURAN, 1998)	28
Figura 5: Estrutura de um problema (adaptado de KEPNER & TREGOE, 1981)	30
Figura 6: Estrutura do problema seminal (adaptado de KEPNER & TREGOE, 1981).	31
Figura 7: Melhoria através de elevação de padrão de atividades e solução de problemas (adaptado de Shook, 2008)	31
Figura 8: Detalhamento do problema (adaptado de Shook, 2008)	33
Figura 9: Exemplo aplicado a Análise por que – por quê (Slack et al., 2002)	54
Figura 10: Diagrama de Ishikawa (adaptado de Campos, 1992 , Slack et al., 2002)	55
Figura 11: Diagrama de Ishikawa com causas preenchidas (adaptado de Ishikawa, 1993)	57
Figura 12: Exemplo de GFCE (adaptado de Ammerman, 1998)	64
Figura 13: Exemplo de árvore de falha (elaborado pela autora)	67
Figura 14a: Primeira parte do Mapa de Causa Raiz <sup>TM</sup> . (Heuvel et. al., 2008)	74
Figura 14b: Segunda parte do Mapa de Causa Raiz <sup>TM</sup> . (Heuvel et. al., 2008)	75
Figura 15: Representação do método Linha de Tempo (adaptado de Heuvel et al., 2008)	79
Figura 16: Representação do método Gráfico de Fator Causal (adaptado de Heuvel et al., 2008).	82

Figura 17: Exemplo de caminho percorrido no Mapa de Causa Raiz™ (adaptado de Heuvel et al., 2008).	84
Figura 18: Exemplo de parte do Taproot® Root Cause Tree® (Taproot, 2013).	86
Figura 19: Exemplo de categoria de causa (Taproot, 2013).	87
Figura 20a: Representação da montagem da barra com o bloco (elaborado pela autora)	90
Figura 20b: Vista aérea da montagem da barra com o bloco (elaborado pela autora)	91
Figura 20c: Vista aérea da montagem da barra com o bloco apresentando não conformidade – diâmetro do furo no bloco diferente do diâmetro da barra (elaborado pela autora)	91
Figura 21: Diagrama de Ishikawa para o exemplo com todas as hipóteses de causa listadas (elaborado pela autora)	93
Figura 22: Diagrama de Ishikawa para o exemplo com causas comprovadas (elaborado pela autora)	95
Figura 23a: 1ª. Parte do GFCE do exemplo (elaborado pela autora)	99
Figura 23b: 2ª. Parte do GFCE do exemplo (elaborado pela autora)	100
Figura 23c: 3ª. Parte do GFCE do exemplo (elaborado pela autora)	100
Figura 24a: AAF inicialmente gerada para o exemplo (elaborado pela autora)	104
Figura 24b: AAF para o exemplo após ramos cortados (elaborado pela autora)	105
Figura 24c: AAF completa para o exemplo (elaborado pela autora)	106
Figura 25: AAF para o exemplo apontando fatores causais (elaborado pela autora)	111
Figura 26: Visualização da trajetória desde o fator causal até a causa raiz. (elaborado pela autora)	114

## Lista de tabelas

Tabela 1: “Método de Solução de Problemas – QC Story (CAMPOS, 1992)	36
Tabela 2: Método 8 disciplinas (adaptado de Chelson et al., 2005)	37
Tabela 3: Etapas do Método de Rooney e Hopen (2004) (adaptado Rooney e Hopen, 2004)	38
Tabela 4: Exemplos de implementação a partir dos 5 por quês (adaptado de Ohno, 1997)	53
Tabela 5: Tabela de Análise de Barreiras (Ammerman, 1998)	60
Tabela 6: Elementos do GFCE (adaptado de Ammerman, 1998).	61
Tabela 7: Simbologia para eventos e portas lógicas (Limnios, 2007)	65
Tabela 8: Tipos de fatores causais (Ammerman, 1998)	68
Tabela 9: Fator causal manutenção/ teste (adaptado de Ammerman, 1998).	69
Tabela 10: Elementos do Mapa de Causa Raiz (adaptado de Heuvel et al., 2008)	73
Tabela 11: Elementos para construção da Linha de Tempo (adaptado de Heuvel et al., 2008)	77
Tabela 12: Elementos para construção do Gráfico de Fator Causal (adaptado de Heuvel et al., 2008)	80
Tabela 13: Formulário resumo de Causa Raiz (adaptado de Heuvel et al., 2008)	84
Tabela 14: Causas potenciais e evidências (elaborado pela autora)	94
Tabela 15: Tabela de Análise de Barreiras para o exemplo (elaborado pela autora)	96
Tabela 16: Evidências dos modos de falha da AAF (elaborado pela autora)	107
Tabela 17: Detalhamento da trajetória desde o fator causal até a causa raiz (elaborado pela autora)	113
Tabela 18: Trajetória desde o fator causal até a causa raiz (elaborado	

pela autora) 113

Tabela 19: Identificação da causa raiz por cada método ACR para o exemplo estudado (elaborado pela autora) 115

Tabela 20: Comparação dos métodos de análise de causa raiz (elaborado pela autora) 122

# 1

## Introdução

### 1.1

#### Contextualização

O desenvolvimento e avanço industrial ocorridos no século XX trouxeram grandes desafios para as organizações. A qualidade no produto, para as organizações, não é mais considerada apenas vantagem competitiva, mas sim condição básica para manutenção de um negócio. As organizações cada vez mais devem garantir e assegurar que os produtos fornecidos possuam zero defeito, criando assim sucesso nos negócios e a satisfação do cliente. “Boa qualidade reduz custos de retrabalho, refugo e devoluções e, mais importante, boa qualidade gera consumidores satisfeitos” (SLACK et al., 2002).

Ainda que muitas empresas possuam sistemas de gestão da qualidade implantados e certificados, acesso ao conhecimento, trabalhadores qualificados e especializados, enfim, uma estrutura propícia ao não surgimento de falhas ou problemas, muitas vezes isso não é suficiente. Problemas ao longo da fase de produção de um determinado produto podem ocorrer – muitas vezes esses problemas são recorrentes ou gerados por uma mesma causa, fazendo com que as organizações tenham que lidar com eles constantemente.

Tais problemas em geral são registrados nas organizações industriais como não conformidades. Não conformidades consistem no não atendimento a requisitos estabelecidos a bens e serviços produzidos. As consequências das não conformidades ou problemas ocorridos são várias, como perda de tempo, de material, de homem-hora, aumento do número de reinspeções e reparos, desperdícios, redução de produtividade, resultando em última instância em perda financeira. Além disso, a existência de não conformidades pode minar a confiança dos clientes, e prejudicar os negócios das organizações.

Embora a ocorrência das não conformidades sejam algo negativo, há uma importante chance de se aprender organizacionalmente. Para isso, as empresas devem direcionar esforços para repará-las e garantir a robustez e perenidade das

soluções nos processos produtivos. Em outras palavras, as não conformidades devem ser eliminadas de modo definitivo.

## 1.2

### Tema da pesquisa e seus objetivos

O tema de pesquisa deste trabalho trata de métodos de Análise de Causa Raiz sendo praticados pelas organizações. Embora a sigla em inglês seja bastante utilizada (RCA – *Root Cause Analysis*), no presente trabalho, todas as vezes que se reportar a análise de causa raiz, a sigla ACR poderá ser utilizada.

Os objetivos do trabalho são descritos abaixo:

- Estudar os principais métodos de análise de causa raiz da literatura, apresentando suas etapas, características e peculiaridades;
- Estudar como esses métodos podem ser aplicados, através de exemplificação;
- Realizar estudo comparativo desses métodos, destacando suas principais características.

Diversos métodos de ACR podem ser utilizados pelas organizações, por isso o levantamento de métodos existentes é interessante para se entender comparativamente as vantagens, desvantagens e características de cada método. E com isso, orientar a melhor escolha para aplicação de um método, já que é de conhecimento que a análise de causa raiz de uma não conformidade é importante para a sua reparação de forma definitiva.

## 1.3

### Justificativa do tema

A forma que usualmente as organizações utilizam para tratar problemas ou falhas é traçar ações para que estes tenham seus sintomas corrigidos, e com isso continuar a produzir mais dos mesmos itens. Porém, somente corrigir o problema pontualmente não é em geral suficiente. A não conformidade ocorrida é apenas o

sintoma de um problema; o não tratamento de forma profunda do problema pode gerar a repetição da mesma não conformidade ou de outras não conformidades provenientes da mesma causa raiz.

Muitas organizações utilizam ACR para que seus problemas sejam compreendidos e resolvidos, dificultando suas recorrências. Alguns setores industriais, como aeroespacial, automobilístico, óleo e gás, hospitalar, dentre outros, utilizam tal metodologia como prática para resolução de problemas. Uberoi et al. (2004) relatam que a ACR é amplamente utilizada para investigar acidentes industriais importantes, e que os fundamentos de tal metodologia estão na psicologia industrial e engenharia de fatores humanos. Ursprung e Gray (2013) abordam que a metodologia ACR, originalmente vinda da indústria e adaptada, é bem aceita agora e comum no setor da saúde. Uberoi et al. (2004) ainda apontam que historicamente a medicina tem se baseado fortemente em abordagem quantitativa para a redução de erros e melhoria da qualidade, o que fortemente envolve analisar as causas de um problema.

Vale mencionar que há uma diferença entre a análise de causa raiz e os métodos de análise e solução de problemas (MASPs). Os MASPs buscam a resolução de problemas como um todo, mas seus fundamentos e a maneira de aplica-los numa organização não focam especificamente em encontrar a causa raiz do problema. Esta é apenas uma etapa do processo, e em muitos MASPs, qualquer método para analisar a causa raiz pode ser utilizado.

Essa informação é importante, para se entender a justificativa deste estudo focado nos métodos de análise de causa raiz. Os métodos de análise e solução de problemas preocupam-se em detalhar o problema em várias etapas, porém na etapa de causa raiz, muitas vezes não se toma a profundidade devida, ou seja, não há uma preocupação em determinar a causa raiz do problema, e sim em apontar simplesmente as causas próximas. Outras vezes, a análise de causa raiz consta como uma etapa do MASP, porém a maneira, isto é, o “como” se obter a causa raiz do problema e o método investigativo a ser utilizado não são claramente definidos ou detalhados. Quando isso ocorre, as chances do problema não voltar a ocorrer são pequenas, uma vez que, caso não se tenha atuado na sua causa raiz, significa que esta não foi tratada, e ainda há chances de este outros problemas associados a mesma causa raiz ocorrerem.



A relevância acadêmica do tema aqui estudado se dá pelo fato do trabalho oferecer o mapeamento de métodos de ACR existentes, que podem ser aplicados em problemas de organizações industriais, apontando suas características, peculiaridades, vantagens e desvantagens e orientando a escolha de aplicação de um método apropriado, trazendo com isso vantagens às organizações. Pretende-se aprofundar o estudo teórico de análise de causa raiz, com abordagem dos métodos, lembrando que MASPs muitas vezes não possuem foco específico para ferramentas de determinação da causa raiz.

Por uma necessidade de atuação no mercado de trabalho, a motivação para estudar o tema principal deste trabalho está na dificuldade encontrada ao procurar uma referência bibliográfica que abordasse os métodos de ACR de forma conjunta, apontando as vantagens e desvantagens de cada um.

#### 1.4

#### Metodologia de desenvolvimento do trabalho

A metodologia de desenvolvimento deste trabalho de pesquisa está estruturada em etapas. As etapas de elaboração são esquematizadas na Figura 1.

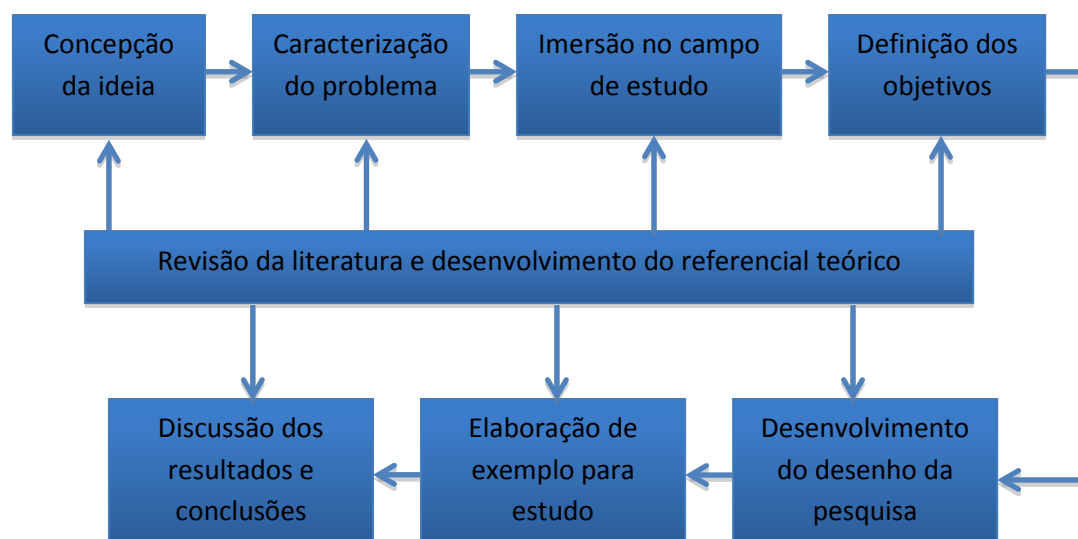


Figura 1: Esquema da metodologia de desenvolvimento do trabalho (elaborado pela autora)

As etapas de pesquisa seguiram caminho lógico, desde a concepção da ideia e caracterização do problema, passando pelo desenvolvimento da pesquisa até a obtenção dos resultados. Vale ressaltar que durante todas as etapas, a revisão e desenvolvimento do referencial teórico foram atividades importantes para se obter base teórica para o trabalho.

Para a revisão da literatura e desenvolvimento do referencial teórico, foi feito um levantamento sobre o tema da pesquisa em fontes mais abrangentes, como sites de pesquisa, passando em seguida para pesquisa do tema em bases de dados de trabalhos científicos. Pesquisas bibliográficas foram realizadas em base de dados do *Web of Science*, e em sites das bibliotecas das principais universidades do Brasil. As palavras-chaves utilizadas foram “Análise de Causa Raiz”, “*Root Cause Analysis*”, “Causa Raiz”, “*Root Cause*”. A partir dos artigos, dissertações e teses encontradas, realizou-se pesquisa bibliográfica das referências citadas nestes trabalhos, chegando consequentemente nas referências primárias do tema. Livros relacionados ao tema de qualidade e Análise de Causa Raiz também fizeram parte do referencial teórico pesquisado.

A metodologia adotada quanto aos fins é classificada como pesquisa metodológica, por se tratar de maneiras e procedimentos relacionados à obtenção de análise de causa raiz, ou seja, pelo trabalho se tratar de um estudo ou um levantamento sobre os diferentes métodos existentes a fim de se obter o entendimento sobre causa raiz de um problema.

Quanto aos meios de investigação a pesquisa é classificada como bibliográfica, uma vez que é um estudo sistematizado, e que foi desenvolvido com base em material publicado em livros, redes eletrônicas, artigos, ou seja, material acessível ao público.

## 1.5

### Limitações do trabalho

O trabalho limita-se a estudar apenas as ferramentas de análise de causa raiz (ACR) de problemas em organizações industriais. Métodos de análise e solução de problemas (MASPs) não serão estudados neste trabalho como um todo, apenas discutidos rapidamente em capítulo posterior, uma vez que entende-se que a ACR é parte integrante dos MASPs, como ilustrado na Figura 2.

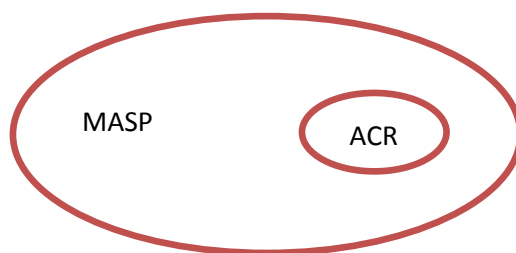


Figura 2: Diagrama Ilustrativo sobre MASP e ACR (elaborado pela autora)

O intuito do presente trabalho é aprofundar o estudo sobre ACR, e não em MASPs tampouco outras etapas dos MASPs.

## 1.6

### Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em oito capítulos. O primeiro capítulo é constituído pela introdução do trabalho, ou seja, informações necessárias para a compreensão geral do trabalho. São apresentados a contextualização do trabalho, o tema e objetivo, bem como suas justificativas, seguindo com a descrição do método utilizado para desenvolvimento do trabalho, limitações do estudo e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo aborda o referencial teórico, conceituações e características gerais de assuntos básicos relacionados com o tema, importantes para que se compreenda o trabalho de pesquisa. É realizada uma revisão bibliográfica contemplando: qualidade, problema, métodos de análise e solução de problemas (MASPs) e análise de causa raiz (ACR).

O terceiro capítulo apresenta o estudo sobre os métodos existentes de análise de causa raiz, relacionando características e particularidades, e algumas vantagens e desvantagens dos métodos apresentados.

O quarto capítulo aborda a aplicação dos métodos de análise de causa raiz em um exemplo elaborado de não conformidade relacionado à indústria manufatureira metal-mecânica

No quinto capítulo, é apresentada discussão sobre os resultados obtidos com a aplicação dos métodos de ACR ao exemplo de não conformidade apresentado.

No sexto capítulo, é apresentada comparação dos métodos de ACR após estes serem aplicados ao exemplo de não conformidade; são apontadas características, peculiaridades, vantagens e desvantagens de cada método.

No sétimo capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido. Também são propostas algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 2

### Referencial teórico

#### 2.1

##### Qualidade

A definição da qualidade passa por várias esferas diferentes, tanto históricas com base no amadurecimento do processo de qualidade nas empresas, quanto relacionadas à visão do cliente e à definição dos pilares principais para que as áreas de qualidade nas empresas comecem a atuar.

No passado, segundo Crosby (1990), a visão que se possuía a respeito da qualidade era de que as empresas não acreditavam realmente que produtos livres de não conformidades fossem possíveis de serem entregues aos clientes. Além disso, era comum a ideia de desempenho da qualidade dada por “níveis da qualidade aceitáveis” – a medição da qualidade era realizada através de índices e proporções. A qualidade era apenas uma característica desejável de um produto, não necessariamente alcançada.

As ideias sobre zero defeito e de realmente possuir a qualidade como algo tangível ganharam mais força após a implantação das ideias japonesas, em 1970. Neste cenário, paralelamente, Crosby (1990) estipulou novos fundamentos de administração da qualidade, os quais ele chamou de “Os Absolutos”, listados a seguir:

- “A qualidade é definida como conformidade aos requisitos, não como bondade.
- A qualidade é conseguida através de prevenção, não por meio de avaliações (verificações).
- O padrão de desempenho da qualidade é o zero defeito, não níveis de qualidade aceitáveis.
- A qualidade é medida pelo preço da não conformidade, não por índices.”

A respeito da evolução do que é qualidade nas empresas, Pujo e Pillet (2002) descrevem que, dentre todas as funções de uma organização industrial, qualidade foi sem dúvida a que mais evoluiu ao longo das últimas duas décadas.

Em se tratando de definições do que seja qualidade, várias definições são trazidas pelos autores, e elas complementam-se entre si, com diferentes abordagens. Primeiramente, como objetivo da qualidade, Pujo e Pillet (2002) descrevem que se pode defini-lo como satisfazer as necessidades do cliente, ou seja, a qualidade pode ser considerada como a totalidade de características e aspectos de um produto ou serviço que afetam sua capacidade de satisfazer necessidades explícitas ou implícitas. Complementarmente, Campos (1992) defende que um produto (ou serviço) com qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, acessível, segura e no tempo correto às necessidades do cliente, e que a preferência do consumidor é o critério que define a boa qualidade.

Em Juran (1997) e Juran (1998) as definições introduzidas sobre qualidade relacionadas diretamente ao cliente convergem com as definições anteriores, porém com olhares segmentados sobre diferentes aspectos da qualidade, conforme abaixo:

- Características do produto – na percepção do cliente, quanto melhores as características do produto, mais alta a sua qualidade. Ou seja, produtos com alta qualidade atendem a necessidade dos clientes e promovem a satisfação dos mesmos.
- Ausência de deficiências – na percepção do cliente, quanto menos deficiências, melhor a qualidade. Tais deficiências, caso aconteçam, provocam retrabalho e resultam em falhas na utilização, reclamação de clientes e não satisfação dos mesmos.

De acordo com Juran (1997), “as características do produto afetam as vendas. No caso desta espécie, a qualidade mais alta normalmente custa mais caro. As deficiências do produto afetam os custos. No caso desta espécie, a qualidade mais alta normalmente custa menos”.

Deming (1990) expande um pouco mais o conceito da qualidade, saindo da esfera do cliente apenas, mas trazendo uma abordagem sobre as “várias faces da qualidade”, ou seja, ele introduz a ideia de que dependendo da função ou papel do agente no processo, ele pode possuir diferentes interpretações sobre o que é qualidade. O autor afirma que o administrador da fábrica e as pessoas envolvidas na produção se preocupam com as especificações e características de qualidade – das peças, do produto final, do desempenho e dos serviços. Já a administração, ele afirma, terá a preocupação relacionada à qualidade acerca de planejar ou não um produto ou um serviço para o futuro. E, por último, em consonância com as definições anteriores, ele diz que a qualidade é o julgamento do consumidor sobre o serviço ou o produto que a empresa oferece. Abaixo o autor enfatiza a ideia sobre o ponto de vista a respeito da qualidade:

“O que é qualidade? A qualidade só pode ser definida em termos de quem a avalia. Quem é o juiz da qualidade?

Na opinião do operário, ele produz qualidade se puder se orgulhar de seu emprego. Alta qualidade, pensa ele, manterá a empresa no ramo. Isto é verdade tanto para as empresas de serviços quanto para as de produção de bens.

Qualidade, para o administrador de fábrica, significa produzir a quantidade planejada e atender às especificações. Sua função é também, saiba ele ou não, o constante aperfeiçoamento dos processos e a constante melhora de sua liderança.” (DEMING, 1990)

Expandindo mais um pouco as esferas da qualidade, sob diferentes óticas da existência da qualidade nas organizações, Juran (1998) aborda 3 pilares fundamentais sobre a qualidade (chamado trilogia Juran) que em muito ajuda a definir o que é qualidade e como utilizá-la numa organização. A trilogia Juran diz respeito ao planejamento da qualidade, controle da qualidade e melhoria contínua. Esta será abordada a seguir de maneira breve nesse trabalho, apenas para fins de alinhamento sobre conceitos de qualidade.

### 2.1.1

#### Planejamento da Qualidade

Juran (1998) define que o planejamento da qualidade é um processo estruturado para desenvolver produtos, que tem por finalidade garantir que necessidades do cliente sejam atendidas no resultado final. O planejamento da

qualidade descreve as necessidades de processo, método, técnicas e ferramentas, não apenas levando em conta os melhores requisitos técnicos da produção de bens e serviços, mas também a satisfação das necessidades dos clientes, que pagarão e se beneficiarão deles.

Em concordância com Juran (1998), Campos (1992) aborda que, o planejamento da qualidade preocupa-se com a satisfação das necessidades dos clientes através do estabelecimento de características de qualidade do produto que vão ao encontro dessa satisfação.

Como etapas macro do processo de planejamento da qualidade, Juran (1998) enumera os seguintes passos: estabelecer o projeto, identificar os clientes (internos e externos), descobrir as necessidades dos clientes, desenvolver o produto, desenvolver o processo, desenvolver os controles de processo/ transferir para a operação.

### 2.1.2

#### **Controle da Qualidade**

Por controle da qualidade entende-se o processo de gestão universal para conduzir operações necessárias para a produção de bens e serviços, estabelecendo nelas estabilidade, ou seja, prevenindo mudanças não desejadas e mantendo o status de operação. Segundo Juran (1998), busca-se manter o nível de qualidade através de um controle da estabilidade do processo; para manter a estabilidade o processo de controle da qualidade deve avaliar o desempenho atual do processo, comparar o desempenho atual com as metas para este desempenho e traçar ações nos hiatos encontrados.

Para muitas organizações industriais o controle da qualidade é realizado com o auxílio da ferramenta ciclo PDCA (abreviação dos termos em inglês *Plan, Do, Check* e *Action*). Juran (1998) aborda que o ciclo PDCA é também chamado de ciclo de Deming ou de ciclo de Shewart (a versão inicial de tal ciclo foi defendida por este autor). Juran (1998) e Campos (1992) abordam os quatro passos do ciclo: planejar (P), fazer ou executar (D), verificar (C) e agir ou atuar corretivamente (A). Na Figura 3, encontra-se a ilustração do ciclo PDCA.



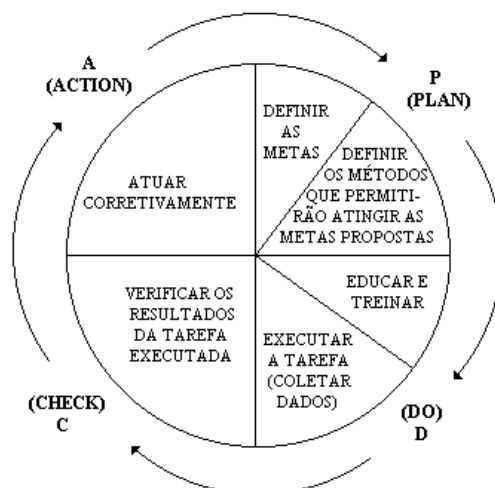


Figura 3: Ciclo PDCA de controle de processos (CAMPOS, 1992)

Para o ciclo PDCA, no passo *planejar* se escolhem controles e se estabelecem objetivos (ou metas), bem como o caminho ou método para se atingir as metas propostas; *fazer* consiste em “rodar” o processo, ou seja, executar as tarefas conforme previstas na fase anterior (garantindo que sejam disseminadas através de educação e treinamento) e coletar dados para a verificação do processo; *verificar* inclui checar o andamento das tarefas, ou seja, comparar os resultados alcançados com a meta planejada, e *agir* é o passo em que se detectam desvios para então atuar corretivamente, de modo que o problema não volte a ocorrer.

Embora o ciclo PDCA esteja aqui inicialmente associado ao controle de qualidade, e neste caso o ciclo focaria a atuação nos picos fora dos limites de controle de determinado processo, ele também pode ser utilizado para melhoria de qualidade. Um ponto interessante de inter-relação entre o tema central do trabalho e o ciclo PDCA é que as ferramentas de análise de causa raiz poderiam ser utilizadas na fase de *atuar corretivamente* (última etapa do ciclo), uma vez que para agir corretivamente, é necessário conhecer a causa do desvio e atuar na causa.

Juran (1998) esclarece que ciclos de realimentação – como o ciclo PDCA – tem a finalidade de eliminar a não conformidade esporádica, em contrapartida, não tem a finalidade de atuar em área de desperdício crônico (ou problemas crônicos, sistêmicos). Para esses casos, ferramentas de gestão de melhoria de qualidade devem ser aplicadas.

### 2.1.3

#### Melhoria da Qualidade

Juran (1998) define que melhoria de qualidade significa a criação organizada de aumento de um benefício; o atingimento de níveis de performance sem precedentes.

Juran (1998) mostra diferentes pontos de vista sobre melhoria da qualidade. Primeiramente aborda as intervenções necessárias para a melhoria da qualidade para aumentar a receita, ou seja, melhorias a serem alcançadas relativas às características do produto:

- desenvolvimento de produto, para criação de novas características que promovam uma maior satisfação dos clientes e assim possa aumentar a receita;
- melhoria de processo de negócio, para reduzir o tempo de ciclo de produção por prover melhor serviço ao cliente;
- criação do “*one-stop shopping*” – termo usado para designar compra ou serviço em apenas um lugar, em uma única parada, a fim de reduzir a frustração do cliente por ter que lidar com múltiplas pessoas para conseguir um determinado serviço.

Já a melhoria da qualidade para reduzir as deficiências, que criam desperdício de forma crônica, são consequências das seguintes ações:

- aumentar rendimentos dos processos fabris – assim trabalha-se contra o desperdício, uma vez que o rendimento aumentou;
- reduzir taxas de erros nos escritórios – redução da taxa significa menor ocorrência de erros, ou seja, menos desperdício;
- reduzir falhas em campo.

Ainda, utilizando o conceito de melhoria de qualidade para reduzir deficiências como exposto anteriormente por Juran (1998), Montgomery (2009) aponta que na sociedade em que vivemos existe uma confusão acerca do conceito

de melhoria de qualidade; alguns ainda acreditam que melhoria da qualidade significa gastar mais dinheiro com um processo ou um produto, ou “revestir de ouro ou diamantes” um produto. Porém, na verdade melhoria da qualidade pode ser definida como a eliminação sistemática de resíduos (ou desperdícios), que pode ser entendida como redução de retrabalho na fabricação, de perdas de fabricação e nos processos, de erros em documentos, de inspeções, de testes, de custos de garantia, de tempo gasto com trabalhos que poderiam ter sido realizados corretamente desde a primeira vez.

Na fase de melhoria de qualidade, ferramentas de causa raiz também poderiam ser aplicadas como instrumental para se chegar às mudanças necessárias para inovação de processos e produtos e redução de desperdícios.

De acordo com Lorente (1999), a inovação pode estar relacionada com produto (área de pesquisa e desenvolvimento e atendimento a necessidades dos clientes), processos produtivos (maquinários, dispositivos e qualquer elemento para aumento da produtividade) e sistemas de gestão (adaptação de sistemas atuais à nova realidade e melhoria do trabalho das pessoas).

A inovação quando associada a processos produtivos pode relacionar-se à melhoria da qualidade; Shingo (1986) aborda a aplicação de dispositivos à prova de erros nos processos produtivos, a fim de alcançar o “zero defeito” nas operações, ou seja, é preciso utilizar a inovação, soluções antes não pensadas, para que falhas não sejam passíveis de ocorrer. Adicionalmente, segundo Lorente (1999), a forma de inovação relacionada a sistemas de gestão torna-se consequentemente necessária, quando mudanças em processos são realizadas.

#### **2.1.4**

##### **Relacionamento trilogia Juran**

A trilogia Juran visa relacionar o planejamento da qualidade, o controle da qualidade e a melhoria da qualidade, com os processos de controle gerenciais fundamentais.

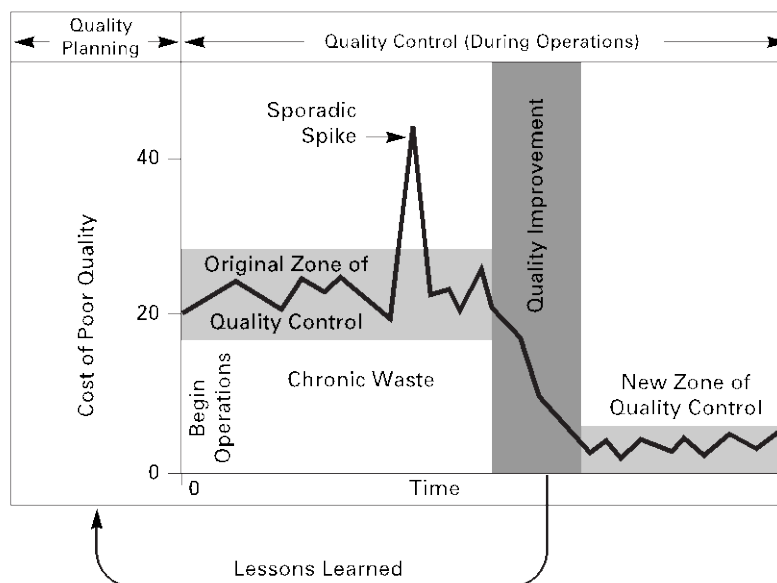


Figura 4: Diagrama da trilogia Juran (JURAN, 1998)

A Figura 4 apresenta de forma esquemática este relacionamento via a observação do comportamento dos custos de baixa qualidade ao longo do tempo. Partindo de um planejamento da qualidade, considerado fase inicial do processo, realiza-se o controle da qualidade durante a realização das operações de produção. Os resultados dos processos monitorados são considerados regulares quando os mesmos geram uma faixa de variação pequena dos custos, estando dentro dos limites de controle. No caso de picos de altos custos, devido à ocorrência de desvios, ações corretivas são tomadas para tratamento do evento fora do limite de controle. Para eliminação de desperdícios crônicos, ações de melhoria de qualidade são introduzidas nos processos, estabelecendo uma nova faixa de variação de custos, ou seja, novos limites de controle. Assim, diante do sucesso das ações de melhoria, as lições aprendidas são aplicadas ao planejamento da qualidade, que já poderá utilizar de tais informações para o aprendizado organizacional.

### 2.1.5

#### O que não é qualidade

Crosby (1990) propõem o que ele não considera qualidade, isto é, ele aborda a existência de 5 pressupostos errôneos sobre qualidade defendidos por muitos. Estes pressupostos são a origem de quase todos os problemas de comunicação entre aqueles que almejam a qualidade e aqueles que supostamente a efetuam:

Pressuposto 1: qualidade como sinônimo de virtude, luxo, brilho ou peso. Ao invés de tal utilização, a qualidade deve ser definida como conformidade com os requisitos. E daí, ainda pode ter a definição de não conformidade, que consiste na ausência de qualidade, ou seja, ausência de conformidade com os requisitos.

Pressuposto 2: qualidade é impossível de ser mensurada, por ser intangível. Ao invés desta afirmativa, a proposta é que se meça a qualidade através do custo gerado ao fazer as coisas erradas.

Pressuposto 3: “economia” da qualidade, ou seja, que a economia da qualidade é um impeditivo para se fazer algo e que não é possível se dar ao luxo de ter tal excelência. Em resposta a esse pressuposto, lembrar o sentido da palavra qualidade – conformidade com os requisitos é algo importante.

Pressuposto 4: todos os problemas de operário possuem “causa operador”, principalmente no setor de fabricação. Utiliza-se a visão de que os problemas são gerados nas fábricas por operários, e não procura-se os erros nos escritórios ou não são realizadas iniciativas de prevenção envolvendo tais operários.

Pressuposto 5: qualidade possui a sua origem no departamento da qualidade. O departamento da qualidade não deve “fazer o trabalho dos outros” e não modificar regras temporariamente, e sim agir com atitude de que os requisitos designados devem ser cumpridos.

### 2.2

#### Problema

De acordo com Campos (1992), “um problema é o resultado indesejável de um processo”. Ou seja, algo diferente do planejado previamente para o processo estabelecido. Segundo Kepner e Tregoe (1981), um *problema* é um

efeito visível, cuja causa encontra-se em algum fato passado. O autor ainda define que sempre que existe uma situação em que determinado nível de desempenho não é alcançado e que a causa associada não é conhecida, isso constitui um problema. Outra definição similar, proposta por Shook (2008), é que “um problema é qualquer desempenho diferente do desejado em qualquer dado momento”. Segundo o mesmo autor, *problema* também pode ser interpretado como algo que se apresenta como uma barreira, um impedimento, evitando que a organização atinja as suas metas e objetivos.

Kepner e Tregoe (1981) propõem uma estrutura para representação de um problema, apresentada na Figura 5.

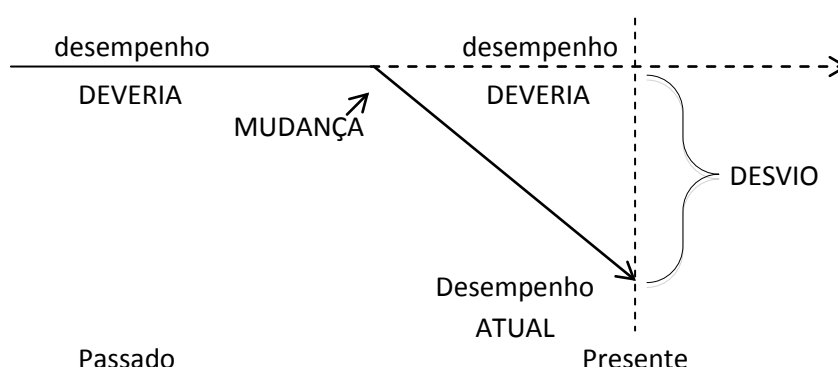


Figura 5: Estrutura de um problema ( adaptado de KEPNER & TREGOE, 1981)

Conforme a Figura 5, um problema se configura quando o padrão de desempenho de certo processo ou equipamento foi modificado por um evento pontual, provocando um desvio entre o desempenho projetado e o observado em um dado momento.

Há casos em que uma máquina ou um processo não funcionam de acordo com o padrão que foi planejado, ou seja, o padrão alcançado não é o desejado. Isso também constitui um problema, uma vez que se trata de um nível de desempenho traçado, mas não alcançado devido a falta de atendimento de condições mínimas requeridas inicialmente. Neste caso, a Figura 6 representa a estrutura deste tipo de problema seminal.

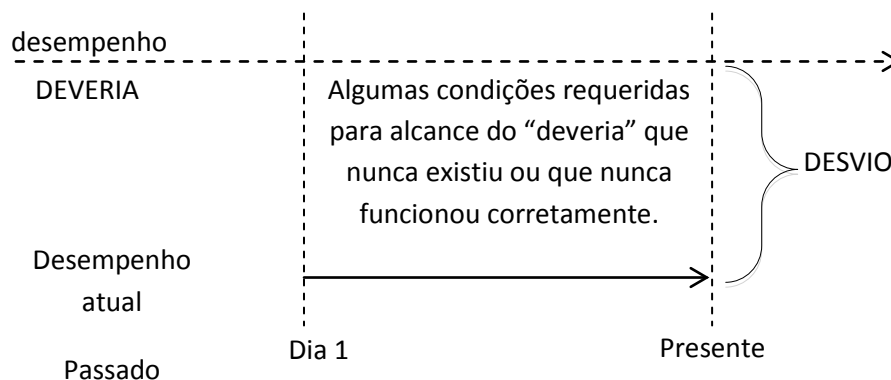


Figura 6: Estrutura do problema seminal (adaptado de KEPNER & TREGOE, 1981).

E uma vez existindo o problema, também é possível associá-lo a atividades de melhoria. É o que Shook (2008) propõe segundo sua representação de melhoria de qualidade através de elevação ou melhoria do padrão em que as atividades são executadas e através da solução de problemas, apresentada na Figura 7.

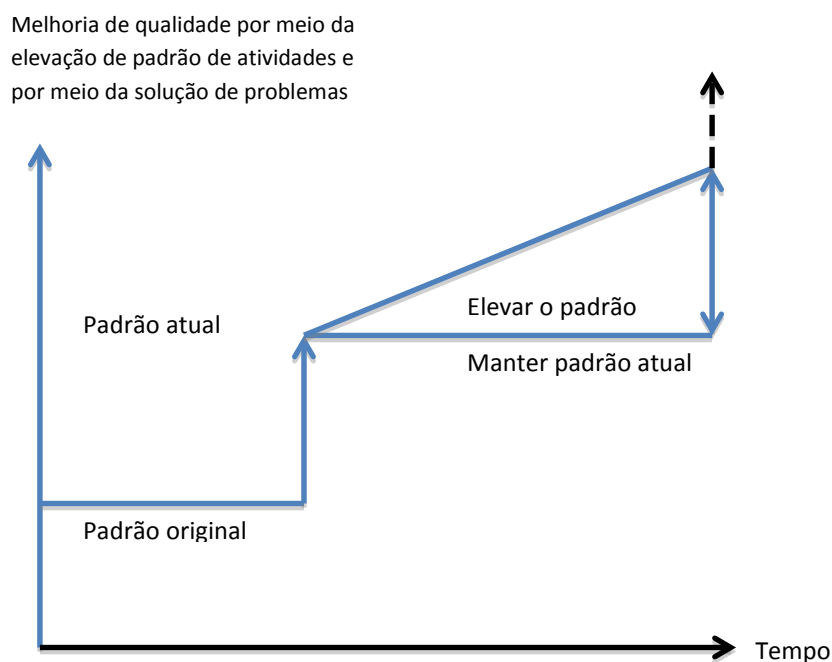


Figura 7: Melhorias através da elevação de padrão de atividades e solução de problemas (adaptado de Shook, 2008).

Neste caso, o padrão em que as atividades são executadas é a maneira como o processo funciona ou como a atividade é desempenhada. De acordo com o gráfico da Figura 7, a melhoria da qualidade pode ocorrer através de elevação do

padrão de atividades e através da solução de problemas ao longo do tempo. Uma vez que se tenha um problema, o fato de solucioná-lo, ou seja, resolver os seus sintomas (não somente) e suas causas (obrigatoriamente) leva a organização a elevar seu padrão de qualidade. Assim, caso um novo problema ocorra, através novamente da resolução dos sintomas e causas dos problemas, tem-se a chance de a partir do padrão atual, elevar ainda mais o padrão de qualidade e novamente promover a melhoria.

Há uma abordagem, defendida por Shook (2008), sobre a visão que as organizações possuem sobre erros e problemas. A maioria das organizações vê problemas como algo ruim, mas ao contrário, estes devem ser vistos como oportunidades de melhoria para os processos. Então, surge a necessidade de uma mudança cultural, muitas vezes, onde a filosofia de: “problemas são ruins – esconda-os” dá lugar a uma outra filosofia: problemas ocorrem – “comemore por tê-los encontrado”. Pior seria para uma organização se o problema existisse e por falta de mapeamento ele continuasse gerando impactos ruins.

Outro ponto interessante de se salientar é a definição de problema e sintoma de problema, que muitas vezes se confundem. O sintoma de um problema pode ser compreendido como a maneira como o problema é percebido por alguém que está lidando com determinado processo ou equipamento. Por exemplo, em uma linha de produção de peças usinadas, caso uma peça seja rejeitada na inspeção dimensional, devido ao diâmetro de um furo estar maior que o especificado, o sintoma desse problema é “diâmetro fora da medida”. Porém, ao investigar o problema, muitas causas podem ser encontradas: a ferramenta da máquina, utilizada para usinar o furo poderia estar frouxa; a peça não estar bem fixada na base da máquina; a programação da máquina ter sido feita com o valor do diâmetro errado; e assim por diante. O que é importante neste exemplo é perceber que o sintoma é o que salta aos nossos olhos, porém a causa, somente depois de investigação, pode ser diagnosticada. O sintoma precisa ser tratado, mas para resolver o problema por definitivo, evitando que este ocorra novamente, a causa raiz precisa ser descoberta e ações corretivas precisam ser tomadas.



### 2.2.1

#### Inter-relação entre definição de problema e a investigação da causa raiz

Shook (2008) propõe uma representação esquemática para detalhamento do problema, apresentada na Figura 8.

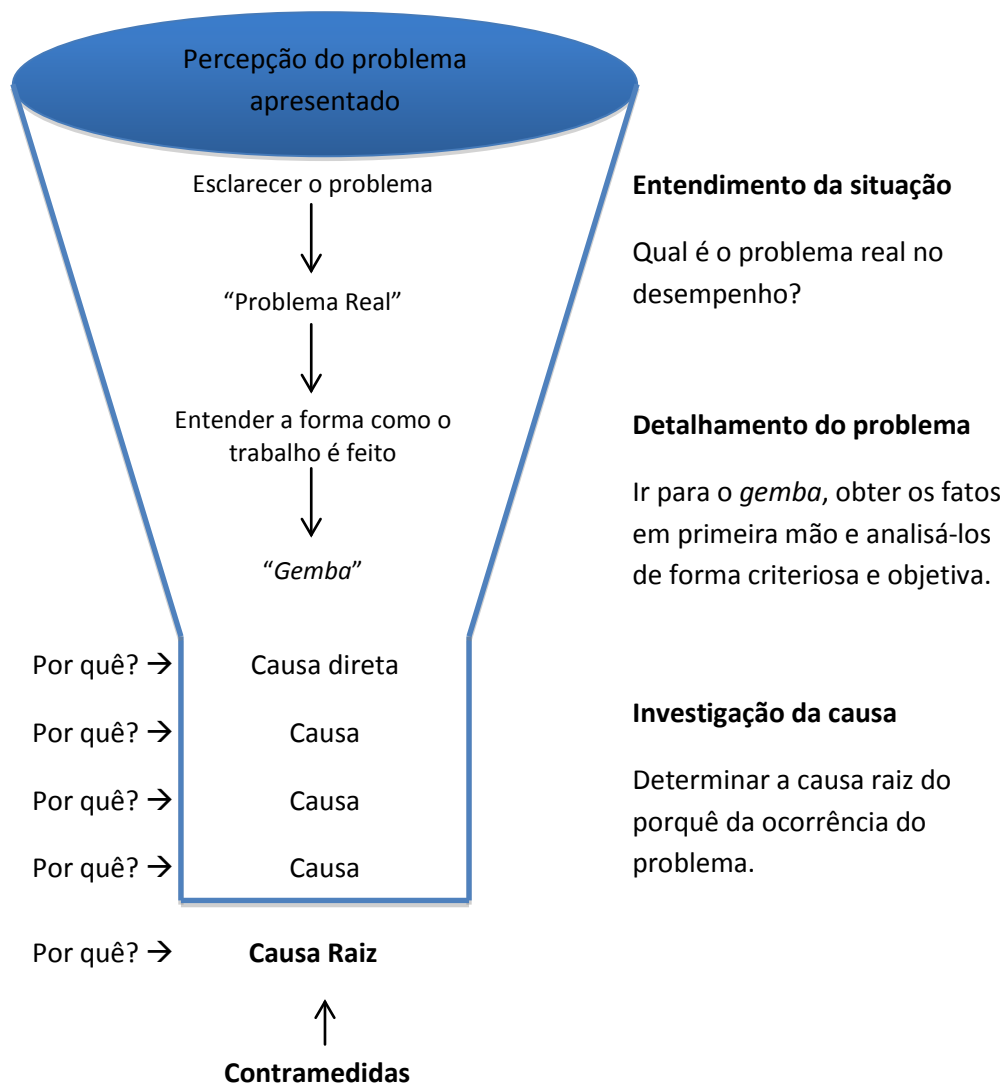


Figura 8: Detalhamento do problema – adaptado (Shook, 2008).

A Figura 8, propositadamente em forma de funil, mostra no topo a percepção do problema. Conforme se começa a descer pelo funil, tem-se a etapa “esclarecer o problema apresentado”, onde o resultado será “Problema Real”. É interessante notar que o “Problema Real” já está abaixo do topo do funil, ou seja,

informações não relevantes que anteriormente estavam na percepção do problema já não se encontram mais nesta fase. A próxima etapa “entender como o trabalho é feito”, tendo como resultado “*gemba*”, consiste em ir ao verdadeiro local onde os fatos ocorrem e investigar. De nada adianta supor que ocorreram fatos geradores do problema, sem ir ao local onde o fato ocorreu (significado de *gemba* é lugar onde acontece o trabalho de criação de valor). De posse dessas informações sobre o que realmente ocorreu, é possível iniciar a investigação, aplicando um dos diversos métodos de análise de causa raiz. Neste caso, o autor aplicou o método dos cinco por quês (que será explicado mais adiante), até que se chegasse à causa raiz do problema.

O esquema claramente mostra a interação entre as etapas de apenas existir um problema em uma organização, e tal problema ser investigado até a obtenção de sua causa raiz.

## 2.3

### Métodos de Análise e Solução de Problemas (MASPs)

Os métodos ou ferramentas de análise e solução de problemas (MASPs), em geral, são métodos utilizados para que um problema seja descrito, entendido, investigado, suas causas identificadas e ações sejam tomadas para a completa solução do problema. Campagnaro *et al.* (2008) abordam que os MASPs são muito úteis na análise e solução de um problema, porque, quando são utilizados de forma correta, reduzem a chance de uma ocorrência futura.

Os MASPs podem apresentar-se na forma de diversas metodologias. Segundo Alvarez (1997), a bibliografia sobre métodos de identificação, análise e soluções de problemas, bem como comparações entre essas metodologias é escassa. Entretanto, alguns trabalhos acadêmicos ao longo do tempo foram desenvolvidos e abordam algumas metodologias e comparações entre elas. Dentre eles, pode-se citar o próprio trabalho de Alvarez (1997), que realiza comparação entre os métodos de Kepner-Tregoe, o QC Story e Processo de Pensamento da Teoria das Restrições; Palady e Olyay (2002), citado por Turner (2008), descrevem as Cartas de Controle de Shewhart (descrição de problemas estatísticos), ciclo PDCA (aplicado na separação das fases de uma solução de problemas) e o modelo DMAIC (definir-medir-analisar-melhorar-controlar) do

Seis Sigma. Turner (2008) em seu trabalho discute e compara as metodologias PDCA, Oito Disciplinas (8D), Modelo A3 da Toyota e Seis Sigma, e cita as metodologias Drill Deep (baseada nos 5 por quês) desenvolvida pela General Motors Co e a metodologia *Problem Solving*, desenvolvida pela empresa onde seu trabalho foi realizado. Martins (2011) elaborou comparações entre os métodos Kepner-Tregoe, Método 7D (disciplinas), Método Sipper e Bulfin, Método de Haviland, Método Toyota segundo Liker e o Método Rooney e Ropen. E finalmente Campagnaro *et al.* (2008) citam em seu trabalho: Método Kepner-Tregoe, Método 7D (disciplinas) – Daimlerchrysler, método Sipper e Bulfin, Método de Haviland, Método Toyota segundo Liker, Método Rooney e Hopen.

Algumas dessas metodologias serão abordadas nos próximos parágrafos, para que se compreenda o que são os MASPs e como as metodologias de ACR inserem-se dentro dos MASPs.

Embora os MASPs possuam diferentes nomenclaturas dependendo de cada método, todos os métodos tem como objetivo comum resolver o problema de uma maneira estruturada. Outro ponto importante é que, independentemente da escolha do método para análise e solução de problemas, o trabalho em equipe é fator crítico para o sucesso. A aplicação dos métodos pressupõe que há um problema difícil de ser resolvido, onde a sua resolução exceda a capacidade de apenas um indivíduo. A tratativa do problema deve envolver pessoas cuja contribuição seja indispensável para se atingir a solução.

Para as organizações, os MASPs possuem como vantagens: resolução estruturada de problemas, evitando assim o esquecimento de algum ponto importante, ou mesmo o mau hábito que algumas empresas possuem de resolver pontualmente um problema (apagar incêndio); abordagem de soluções robustas e definitivas; e por fim geração de um banco de dados de problemas ocorridos, a fim de que seja consultado sempre que necessário.

Como já mencionado, a presente dissertação não tem por finalidade detalhar a estrutura e o funcionamento dos MASPs descritos a seguir, mas sim apresentar de forma resumida alguns dos MASPs que foram descritos acima, para que se possa entender como estes se relacionam com os métodos de ACR.

### 2.3.1

#### QC Story

O QC Story é o método japonês da JUSE (*Union of Japanese Scientists and Engineers*), que consiste em oito etapas: identificação do problema, observação, análise, plano de ação, ação, verificação, padronização e conclusão. Estas 8 etapas, segundo Campos (1992), estão correlacionadas ao ciclo PDCA, por se relacionarem a etapas de planejamento, ação, verificação e atuação corretiva. (O ciclo PDCA foi apresentado no item 2.1.2 da dissertação). A Tabela 1 mostra o detalhamento deste método.

Tabela 1: “Método de Solução de Problemas – QC Story (CAMPOS, 1992)

PDCA	Fase	Objetivo
<b>P</b>	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer a sua importância.
	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
	Análise	Descobrir as causas fundamentais.
	Plano de Ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
<b>D</b>	Ação	Bloquear as causas fundamentais.
<b>C</b>	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	O bloqueio foi efetivo?	Esta etapa é de decisão. Caso o bloqueio não tenha sido efetivo, deve-se retornar a etapa número 1.
<b>A</b>	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro.

### 2.3.2

#### 8D (TOPS)

O método 8D (oito disciplinas) também é conhecido como TOPS (*Team Oriented Problem Solving* ou em português, solução de problema orientado à equipe), ou mesmo como TOPS 8D (*Team Oriented Problem Solving- Eight Discipline process*, ou em português solução de problema orientado à equipe – processo das oito disciplinas) . Chelson *et al.* (2005) descrevem que este é o método da Ford para resolução de problemas, e de acordo com Zairi (1999), a alta direção da Ford apoiava tal ferramenta, a qual teve início na indústria automotiva. Porém, Campagnaro *et al.* (2008) abordam que a utilização do 8D não se dá

apenas em empresas da cadeia automotiva, mas em praticamente todos os seguimentos industriais, e assim os autores concluem que o 8D goza de razoável reputação entre as empresas de manufatura.

A seguir estão algumas características do método 8D, segundo Chelson *et al.* (2005):

- É aplicado em equipe de forma ordenada;
- Utiliza fatos ao invés de opiniões pessoais;
- Pode ser aplicado para qualquer tipo de problema e atividade;
- Promove melhor comunicação entre diferentes áreas que compartilham do mesmo objetivo;
- Faz uso de documentos e gera relatório.

Na Tabela 2, seguem as etapas do método 8D, com uma breve descrição para cada uma delas.

Tabela 2: Método 8 disciplinas (adaptado Chelson et al., 2005).

Disciplina	Etapas	Explicação
1	Usar abordagem de equipe	Construir um pequeno time de pessoas com horas alocadas para a atividade, autoridade e conhecimento técnico necessário para resolver o problema e tomar as ações corretivas.
2	Descrever o problema	Descrever o problema em detalhes. Especificar quem, quando, onde, o quê, por quê, como e quanto.
3	Implementar e verificar ações de contenção	Implementar ações de contenção para isolar o efeito do problema do cliente até que as ações corretivas sejam implementadas. A contenção deve ser rápida, de fácil implementação e com bom custo-benefício. Verificar a eficácia da contenção.
4	Definir e verificar a causa raiz	Identificar todas as causas potenciais, através da análise de causa raiz. Isolar e verificar as causas raízes potenciais testando-a em relação ao problema. Traçar ações corretivas para eliminar a causa raiz.
5	Verificar ações corretivas	Confirmar se as ações corretivas resolveram o problema para o cliente e se não irão causar efeito colateral indesejado.

6	Implementar ações corretivas permanentes	Implementar ações corretivas permanentes. Definir e implementar a melhor ação corretiva. Escolher controles para assegurar que a causa raiz foi eliminada. Quando estiver em prática, monitorar efeitos de longo prazo e caso necessário, implementar ações de contingência.
7	Prevenir recorrência	Modificar processos e procedimentos, para que o problema não volte a ocorrer, e nem outros problemas similares.
8	Parabenize seu time	Reconhecer o esforço coletivo e sucesso do time.

A execução das etapas não precisam necessariamente obedecer a essa ordem, mas todas as etapas devem ocorrer para que a resolução do problema seja alcançada de forma completa.

### 2.3.3

#### Método de Rooney e Hopen (2004)

Similarmente aos métodos anteriores apresentados, Rooney e Hopen (2004) propõem um método de 6 passos para solução de problemas; os autores argumentam que esta é uma maneira estruturada para resolução de problemas. Os passos deste método são os seguintes, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3: Etapas do Método de Rooney e Hopen (2004) – adaptado Rooney e Hopen (2004)

Passo	Descrição	Explicação
1	Definir o problema	Selecionar problema ou oportunidade que possuam alta prioridade de resolução.
2	Coletar dados sobre o estado atual	Listar três causas potenciais mais prováveis; listar 3 fatores primários que podem afetar os resultados de cada uma das causas apontadas; desenvolver um plano de amostragem para coleta de dados; preparar planilhas e modelos para registros de dados; coletar dados e criar banco de dados de informações sobre o problema.
3	Determinar a causa raiz	Propor uma causa raiz e verificar a causa raiz por experimentação.
4	Selecionar a melhor solução	Desenvolver lista de soluções potenciais; avaliar para cada causa viabilidade e dificuldade de mudança; testar a solução mais promissora;

5	Definir um plano de ação e implementar a solução	Desenvolver uma lista de todas as ações específicas associadas para colocar a solução em prática; estabelecer medições (indicadores) para assegurar que ações sejam concluídas; definir responsável para cada ação; documentar as ações e resultados; comparar resultados obtidos após implementação das ações com resultados originais e com resultados planejados; analisar razões para sucesso / sucesso parcial e tomar ações corretivas apropriadas.
6	Estabelecer métodos confiáveis para manter o ganho	Estabelecer métodos confiáveis para assegurar conformidade; documentar todo efeito colateral ou não conformidade que possa ter ocorrido.

Os três métodos apresentados possuem em geral etapas similares entre si, e um ponto a ser destacado é que os 3 métodos possuem a etapa de análise de causa raiz, reforçando o fato de que a análise de causa raiz é uma das etapas do MASP.

No capítulo seguinte a etapa análise de causa raiz será aprofundada, e serão descritos conceitos, características e definições. Posteriormente, serão apresentados alguns métodos de análise de causa raiz.

## 2.4

### Análise de Causa Raiz (ACR)

#### 2.4.1

#### Aspectos gerais

A análise de causa raiz consiste na investigação do problema e identificação da(s) sua(s) causa(s) raiz(es) para posterior tomada de ações corretivas. De acordo com Uberoi *et al.* (2004), o objetivo da análise de causa raiz é descobrir o que ocorreu, por quê ocorreu e o que fazer para prevenir a recorrência do problema. Diferentemente de abordar apenas as causas que contribuíram para o problema ocorrer ou para o agravamento de seus impactos, a análise de causa raiz objetiva descobrir a causa fundamental do problema, ou seja, a sua causa raiz, caracterizada como aquela causa que se não tivesse ocorrido, o problema não existiria. Somente eliminando-a através de ações corretivas, este não voltará mais a ocorrer e consequentemente será definitivamente resolvido. Ursprung e Gray (2013) afirmam que, embora a ACR possua uma abordagem

retrospectiva de análise de erro, ou seja, atua no problema após este ter ocorrido, o seu objetivo é prevenir eventos futuros adversos.

Segundo Rooney e Heuvel (2004), a análise de causa raiz possui algumas características, conforme abaixo:

- Ajuda identificar o que ocorreu, por quê ocorreu e como ocorreu;
- Previne recorrência do problema;
- Resulta em ações eficazes para prevenir recorrências.

Ammerman (1998) lista os seguintes objetivos para ACR:

- Eliminar causas presumíveis relacionadas a problemas de performance, tais como procedimentos, pessoas, equipamentos, processos;
- Eliminar causas presumíveis e aparentes, não sustentadas por dados coletados do problema;
- Selecionar causas que requerem verificação;
- Determinar causa raiz e causas que contribuíram para o problema e que necessitam de ações corretivas.

A seguir serão trazidos uma série de aspectos relacionados a ACR. Estes pontos em geral devem ser observados, para que a ACR seja a mais efetiva possível.

#### **2.4.2**

##### **Quando realizar análise de causa raiz**

Todas as vezes que um problema ocorre, é possível realizar a ACR. Porém, muitas vezes as empresas não possuem recursos suficientes ou tempo suficiente para realizar todas as análises necessárias. A ACR é um processo que envolve várias etapas e que demanda homem-hora de especialistas e trabalhadores que estão diretamente envolvidos no problema, ou seja, recursos que, ao invés de estarem desempenhando suas atividades cotidianas e rotineiras, estão temporariamente e exclusivamente dedicados à resolução definitiva do problema.



Além disso, em alguns processos de investigação, é necessário testar hipóteses de causa raiz levantadas através de ensaios destrutivos em peças, realização de processos fabris, dentre outros. Por isso, a ACR pode ser um processo caro.

Logo, é uma boa prática elaborar uma seleção sobre quais problemas serão submetidos à ACR; as organizações devem realizar uma priorização dos problemas que serão analisados. Esta priorização pode basear-se na frequência de ocorrência do problema ou de um grupo de problemas de determinado tipo ou com características similares, ou mesmo pode-se optar por realizar a Análise quando os problemas tiverem consequências sérias, tais como, grande prejuízo, impacto ambiental ou acidentes sérios com perda ou dano à vida de funcionários. Segundo Taproot (2013), alguns problemas, considerados problemas com pouco impacto, não merecem análise de causa raiz. O que deve ser feito é apenas categorizar o problema e reparar a falha. Ursprung e Gray (2013) defendem que as organizações devem possuir um critério que defina para quais problemas realizar a ACR. Uma vez definido o critério, um mecanismo para identificar esses eventos e alertar os funcionários relevantes é necessário.

### **2.4.3**

#### **Tipos de causa e causa raiz**

Há alguns diferentes tipos de causas e diferenças entre a causa raiz e as demais causas de um problema.

Segundo Ammerman (1998), é possível referenciar as causas de problemas de várias maneiras, e dentre elas estão:

- Causas presumíveis – causas que aparecem no início ou ao longo da coleta de dados, mas que para se confirmarem precisam de validação.
- Causas contribuintes – são causas que sozinhas não poderiam causar o problema, porém são importantes e devem ser tomadas ações corretivas relacionadas a elas para melhoria da qualidade e do produto. Neste grupo de causas estão as causas secundárias ao problema e as causas possíveis.
- Causa raiz – causa que se corrigida, prevenirá a recorrência do problema. É a causa mais básica, ou seja, a razão para a ocorrência do problema.

A causa raiz é aquela que se não existisse, o problema não existiria. Porém, ao longo da investigação é comum acreditar que já se alcançou a causa raiz do problema, sem se ter realmente alcançado. Para tentar solucionar essa questão, é interessante que se pergunte, ao se chegar à suposta causa raiz: “se eliminarmos essa causa, conseguiremos eliminar o problema definitivamente?”. Se a resposta for positiva, as chances dessa causa ser a causa raiz são grandes. Caso seja negativa, há grandes chances dessa não ser a causa raiz do problema.

Outra particularidade sobre causa raiz é como esta deve ser descrita. A causa raiz, segundo Rooney e Heuvel (2004), não deve ser definida com classificações genéricas como “erro de operador”, “falha no equipamento”. Tais causas não são específicas o suficiente para a gerência tomar ações corretivas para evitar a recorrência de problemas. Outro ponto, segundo os mesmos autores, diz respeito à identificação como causa raiz de algo que a gerência possa influenciar diretamente. Por exemplo, identificar “chuva forte” como causa raiz para o problema “peças não foram entregues na data prevista conforme acordado em contrato” não é apropriado, uma vez que “chuva forte” é algo que não pode ser controlado pela gerência.

Ainda que todas as etapas de uma ACR tenham sido realizadas, há casos em que a causa raiz não pode ser encontrada. Muitas vezes, tem-se hipóteses para a causa raiz específica, porém não há evidências objetivas para que se prove que tal hipótese é a causa raiz do problema, ou mesmo, não se pode reproduzir o que ocorreu no momento do problema de modo que efetivamente se chegue à causa raiz. Uma explicação possível para isso seria limitação orçamentária ou ausência de uma equipe competente. Porém, quando isso ocorre, o correto a ser feito é considerar as hipóteses de causa raiz e traçar ações corretivas para todas elas, ou ao menos para as mais prováveis. Desta maneira, a empresa estaria resguardada e mais protegida da recorrência do mesmo problema.

#### **2.4.4**

#### **Eliminação da recorrência de problemas através da ACR**

Segundo Kepner e Tregoe (1981), é mandatório que o efeito que observa-se (problema) seja relacionado a sua causa raiz exata; somente dessa forma pode-se ter certeza da correta tomada de decisão, que corrigirá o problema e garantirá

que este não ocorra novamente. Porém, usualmente, as organizações no dia a dia corrigem apenas os sintomas do problema, ou seja, corrigem pontualmente o problema, tendo como preocupação principal, continuar o fluxo de produção, liberar as peças que se encontraram defeituosas, corrigir tais peças, dentre outros. Quando isso ocorre, a preocupação se dá apenas com os sintomas do problema e não com suas causas. Tratar apenas os sintomas do problema garante que momentaneamente o problema foi resolvido, mas grande é a chance do mesmo problema ocorrer novamente.

Rooney e Heuvel (2004) defendem que a identificação da causa raiz é a atividade chave para que se evite recorrência de erros. A análise de causa raiz é um processo que visa a não recorrência do mesmo problema. Utilizando-se a premissa de que determinado problema possui uma causa raiz, ao se tratar a causa do problema e tomar as ações corretivas apropriadas, tem-se a garantia que o problema gerado por tal causa específica não ocorra novamente. “Somente quando investigadores são capazes de determinar por que um evento ou falha ocorreu eles serão capazes de especificar medições corretivas viáveis que previnam futuros eventos do tipo observado” (tradução do autor para Rooney e Heuvel, 2004).

#### **2.4.5**

##### **Oportunidades de melhoria através da ACR**

De acordo com Rooney e Heuvel (2004), outro benefício eficaz de uma ACR é que ao longo do tempo, causas raízes identificadas em toda a gama de ocorrências podem ser usadas para atingir grandes oportunidades de melhoria. A observação de certas características, comuns das causas raízes ocorridas, permite o desenvolvimento de melhorias sistemáticas. Por exemplo, caso a maior parte das causas seja atribuída a um departamento específico da organização, ou possuam alguma característica similar, a organização possui a chance de atuar sistematicamente no grupo de problemas, eliminando-os. Se, por exemplo, um número significativo de análises possuem causas associadas ao departamento de produção, recursos podem ser direcionados para a melhoria desse departamento.

Outro ponto interessante é que ao se corrigir a causa de um determinado problema pode-se indiretamente estar resolvendo outros problemas não priorizados e/ou não mapeados. Uma causa pode ser a mesma para um ou vários

problemas; assim sendo ao corrigi-la para o problema em análise, outros problemas que possuem a mesma causa serão automaticamente eliminados.

#### **2.4.6**

##### **Ações corretivas relacionadas à causa raiz**

Segundo Ursprung e Gray (2013), o plano de ações corretivas deve ser apoiado pela gerência – um time multidisciplinar incluindo um líder experiente e uma liderança sênior da organização é essencial para liderar um plano de ação para mitigar futuros problemas similares.

Segundo o ponto de vista de Rooney e Heuvel (2004), ações corretivas devem ser direcionadas diretamente para as causas raízes identificadas. Se recomendações vagas forem definidas, como, por exemplo, “melhorar aderência aos procedimentos”, provavelmente a causa raiz encontrada não foi básica e específica o suficiente ou houve uma má definição da ação corretiva.

Uma ação corretiva deve possuir responsável por sua realização e data de conclusão, para que esta possa ser gerenciada e controlada. Isso também evita que caia no esquecimento e não seja realizada.

#### **2.4.7**

##### **Grupos de trabalho e papel do moderador**

A ACR deve ser realizada por um grupo de trabalho ou uma equipe, preferencialmente de caráter interdisciplinar e que de alguma forma possua envolvimento com o problema ocorrido, seja por participar do problema ou mesmo pelo conhecimento e experiência no assunto que será discutido. Segundo Uberoi et al. (2004), os membros deste time devem ser treinados em técnicas e objetivos da ACR, uma vez que a tendência de utilização de ideias pré-concebidas pelos participantes é grande. A multidisciplinaridade da equipe, ou seja, a participação de pessoas de diferentes áreas na investigação, é um fator importante para a ACR.

A participação de quem atuou nos eventos que ocasionaram o problema é fundamental, porque desses funcionários sairão a fonte de informações necessária para entender os fatos e o problema para encontrar sua causa. Desta forma, de

acordo com Ammerman (1998), o processo de análise de causa raiz é interativo. Ou seja, a construção da investigação se dá com a interação/ participação dos envolvidos. Segundo o mesmo autor, o bom solucionador ou equipe solucionadora de problemas deve avaliar os impactos de cada nova evidência do problema investigado, e integrá-las nos documentos de análise.

Para que este processo interativo ocorra, sendo possível que a equipe retorne a diferentes pontos da investigação, Ammerman (1998) sugere que o investigador ou equipe investigadora documente de maneira sistemática os seguintes itens:

- A sequência de todos os eventos relevantes;
- A fonte de todos os fatos utilizados como evidências para a investigação;
- As fontes de todas as suposições e hipóteses;
- As razões das conclusões;
- As fontes de informação (dados).

Outro ponto importante, que deve estar claro para a equipe participante, é que o objetivo da investigação da ocorrência de um problema é a descoberta da causa raiz e não a busca por responsáveis. O objetivo da ACR não é responsabilizar nenhum funcionário pela ocorrência do problema, mas sim utilizar a sua participação no problema como fonte de informações, para que se entenda as causas e que se pense em como tornar futuramente, o processo em que houve a falha mais robusto, para que este seja à prova de falhas.

Para que o trabalho em equipe consiga ser realizado ao se aplicar a ACR, o papel do moderador do grupo é fundamental. Goig (2004) relata que o moderador do grupo deve manter um controle suave sobre o grupo, permitindo que o diálogo flua para os objetivos, e que conhecimentos de sociologia, psicologia social e dinâmica de grupos pequenos são necessários para o moderador. O moderador do grupo é responsável por levar o grupo à discussão dos objetivos acordados inicialmente e de não permitir que a discussão saia do foco da ACR do problema.

De acordo com Goig (2004) abaixo estão destacadas algumas atividades que são realizadas por um moderador:

- Moderar, estimular e guiar o grupo;
- Conseguir que os participantes do grupo falem sobre o tema o qual se propuseram;
- Administrar e gerir a dinâmica interna das reuniões;
- Estar atento ao curso das discussões frente às intervenções dos participantes;
- Intervir quando o grupo perde o foco em relação ao objetivo e levar o grupo de volta ao objetivo original;

Goig (2004) também relaciona algumas características de um moderador:

- Mentalidade científica;
- Capacidade de liderança;
- Capacidade de decisão e adaptação às mudanças ao longo das discussões em grupo.

Um ponto de atenção à atividade dos moderadores são os extremos nas discussões dos grupos. Segundo Goig (2004), não é benéfico que um grupo seja totalmente heterogêneo nem totalmente homogêneo; um grupo homogêneo se pauta no surgimento de um líder “informal” no grupo, que envolve todas as pessoas em torno da sua própria ideia e pode até desafiar a autoridade do moderador, e já um grupo muito heterogêneo é difícil chegar a um consenso, tornando o ambiente com tantas opiniões contrárias um caos. Os dois extremos torna o objetivo do trabalho do grupo difícil de ser alcançado. Goig (2004) ainda aponta que um grupo muito calado, que não transmite suas opiniões, assim como um grupo que não entende as discussões propostas também são desafios a serem superados pelo moderador.

#### **2.4.8**

#### **Barreiras para uma ACR efetiva**

Ursprung e Gray (2013) apontam algumas barreiras que podem prejudicar a efetividade da ACR:

- Realização incorreta da ACR;
- Moderador sem liderança perante o grupo;
- Ênfase em encontrar a causa raiz somente, esquecendo as causas menores e possíveis;
- Falta de recursos;
- Falta de cooperação da equipe dedicada à ACR;
- Falta de apoio da gerência para realização da ACR.

A seguir será explorado cada um dos pontos apontados acima.

### **Realização incorreta da ACR**

Durante a Análise conclusões equivocadas podem ser alcançadas. Isso pode ocorrer devido a uma má definição da causa raiz do problema; quando não se chega à causa fundamental, uma causa raiz que não é a real é definida. Sendo assim, todo o trabalho posterior de definição de ação corretiva será baseado na causa raiz equivocada. Com isso, as ações tomadas podem não corrigir o problema.

Outra possibilidade de realização incorreta da ACR pode se dar através de uma definição de ações corretivas não efetivas ou não relacionadas com a causa raiz do problema. Caso isso ocorra, a solução definitiva do problema também será comprometida. A realização incorreta da ACR inclusive pode comprometer a aceitação da metodologia por parte dos funcionários e da própria gerência – ao ver uma ACR que não surtiu o resultado esperado, pode-se começar a se colocar em cheque a real efetividade da metodologia, enquanto que o que falhou foi a execução da metodologia e não a metodologia em si.

### **Moderador sem liderança perante o grupo**

O moderador do grupo precisa ter liderança perante o grupo para que este trabalhe em prol do problema a ser discutido e alcance os objetivos traçados para o trabalho. A falta de liderança pode provocar falta de efetividade do trabalho,

desmotivação da equipe ou falta de credibilidade do trabalho para a equipe, uma vez que os funcionários podem ligar a figura do moderador ao trabalho de ACR.

### **Ênfase em encontrar a causa raiz somente, esquecendo as causas menores e possíveis**

Embora o foco da análise seja encontrar a causa raiz, outras causas menores também devem ser percebidas, pois estas podem se revelar tão importantes quanto à causa raiz ou uma delas ser a própria causa raiz. Uma causa considerada inicialmente com pouca chance de ser a causa raiz e descartada em uma investigação mal conduzida poderia ser a verdadeira causa raiz do problema, o que poderia implicar em atraso do processo de análise.

### **Falta de recursos**

A falta de recursos pode ser uma grave barreira. O principal recurso para a ACR são as pessoas. Caso estas não estejam disponíveis, não há como realizar a ACR com assertividade. A falta de recursos financeiros para a investigação também pode ser um problema; caso a análise envolva ensaios de laboratórios em itens específicos, ensaios não destrutivos, fabricação de protótipos ou testes de fabricação em linha produtiva, e não sejam investidos recursos para tais finalidades, a causa raiz talvez não seja encontrada.

### **Falta de cooperação da equipe dedicada à ACR**

Caso a equipe não coopere com informações e conhecimentos a respeito do problema, será difícil se chegar à verdadeira causa raiz do problema – a equipe possui a chave para as respostas requeridas na análise e sem a participação dela, não é possível ser realizado o trabalho.

### **Falta de apoio da gerência para realização da ACR**

A gerência deve apoiar e delegar pessoas para a participação da ACR. A gerência deve funcionar como promotora ou patrocinadora, ou seja, ser



responsável por garantir que tais atividades sejam executadas. Caso a gerência não apoie este tipo de trabalho, por exemplo, delegando aos seus funcionários outras atividades mais prioritárias, ao mesmo tempo em que estes se dedicam à participação da ACR, ou deleguem uma carga de outros trabalhos muito grande aos seus funcionários, não restando tempo para o trabalho em ACR, provavelmente a equipe não terá foco na participação deste grupo e este trabalho ficará em segundo plano, o que atrapalhará o bom resultado deste.

Mais alguns pontos além dos citados anteriormente também podem ser considerados barreiras para uma ACR efetiva. A saber:

### **Inferência do grupo ao invés de trabalhar com dados e fatos**

É comum que profissionais com experiência componham o time de ACR. Embora sejam uma valiosa fonte de informações acerca dos processos relacionados ao problema, estes profissionais muitas vezes possuem ideias pré-concebidas, que utilizadas sem confronto com dados e fatos, podem levar à equipe a tirar conclusões equivocadas sobre a ACR. Outro fato que pode ocorrer é o excesso de inferência da equipe; ao invés de se pautarem em fatos e dados coletados e em resultados de testes de hipóteses, estes já afirmam desde o início determinada causa ou conclusão apenas por indícios, e se apegam a tais ideias, não querendo abandoná-las.

### **Equipe de ACR sem experiência, conhecimento ou que não participou do problema**

Caso funcionários que não possuam nenhuma relação com o problema ocorrido sejam escalados para participar da equipe de ACR, dificilmente resultados efetivos serão obtidos, uma vez que estes não possuirão conteúdo e informações de forma a contribuir para a análise.

### **Falta de disciplina da equipe em utilizar uma metodologia de ACR**

A ACR não é tarefa fácil, embora muitas vezes pareça. O trabalho a ser realizado é minucioso, requer disciplina para que uma metodologia seja seguida e

persistência para que a equipe não desanime na primeira dificuldade ao tratar do problema em questão. Por isso, caso a equipe e/ ou o moderador não seja disciplinado e não siga uma metodologia de ACR, o trabalho pode acabar perdendo efetividade. Isso não significa que esta atividade deve ser rígida e inflexível; porém deve garantir que as etapas desenhadas sejam cumpridas e realizadas, porque se estas foram desenhadas na metodologia de ACR, significa que irão contribuir com algo necessário para o resultado da análise e eliminação definitiva do problema.

### 3

## Métodos de Análise de Causa Raiz

Foram escolhidos para serem estudados no presente trabalho os métodos de ACR citados nos artigos científicos, dissertações, teses e livros utilizados como fonte bibliográfica para esta dissertação.

Vale mencionar que embora esteja-se utilizando a nomenclatura “método” para a forma de realizar a Análise de Causa Raiz, muitas vezes é também associada a nomenclatura “ferramenta” ou “metodologia” por alguns autores. Porém, no presente trabalho, as nomenclaturas “método”, “metodologia” e “ferramenta” não possuem diferença, por se relacionarem igualmente à maneira de definir a causa raiz de um problema.

### 3.1

#### Método dos 5 por quês

O método dos 5 por quês é uma abordagem científica, utilizada no sistema Toyota de Produção, para se chegar à verdadeira causa raiz do problema, que geralmente está escondida através de sintomas óbvios (Ohno, 1997). O método consiste em perguntar o por quê de um problema sucessivas vezes, para se encontrar a sua causa raiz. Turner (2008) defende que os 5 por quês é um método importante para a ACR, pois permite que através de múltiplos questionamentos se separe a causa do efeito, contribuindo para a construção de hipóteses plausíveis para a causa raiz do problema.

O método dos 5 Por quês prevê que a primeira pergunta, ou seja, o primeiro dos por quês deve ser construído utilizando o próprio problema, e deve-se responder por quê o problema está ocorrendo. O segundo por quê deve ser construído utilizando a resposta do primeiro por quê. E assim sucessivamente até que se tenha alcançado a causa raiz do problema.

Weiss (2011) descreve de forma simplificada os 5 passos que devem ser dados para aplicar o método:

- 1 – Inicie a análise com a afirmação da situação que se deseja entender – ou seja, deve-se iniciar com o problema;
- 2 – Pergunte por que a afirmação anterior é verdadeira.
- 3 – Para a razão descrita que explica por quê a afirmação anterior é verdadeira, pergunte por quê novamente;
- 4 – Continue perguntando por quê até que não se possa mais perguntar mais por quês;
- 5 – Ao cessar as respostas dos por quês significa que a causa raiz foi identificada.

De acordo ainda com Weiss (2011), para análise dos 5 por quês, embora seja denominada assim, pode-se utilizar menos por quês (3 por exemplo), ou mais por quês, de acordo com a necessidade para que se encontre a causa raiz.

Este método, de aparência fácil, pode ser difícil de ser praticado, porque requer disciplina lógica do moderador e da equipe para que as relações de causa e efeito sejam respeitadas na construção da análise. Caso essas relações se percam, a análise pode ficar sem sentido.

Abaixo está um exemplo (OHNO, 1997) da abordagem dos cinco por quês aplicado a um problema com relação à parada de uma máquina.

“1. Por que a máquina parou?

Porque houve uma sobrecarga e o fusível queimou.

2. Por que houve uma sobrecarga?

Porque o mancal não estava suficientemente lubrificado.

3. Por que não estava suficientemente lubrificado?

Porque a bomba de lubrificação não estava bombeando suficientemente.

4. Por que não estava bombeando suficientemente?

Porque o eixo da bomba estava gasto e vibrando.

5. Por que o eixo estava gasto?

Porque não havia uma tela acoplada e entrava limalha.”

Através da abordagem dos cinco por quês é possível investigar mais a fundo o problema para que ao encontrar a sua raiz este possa ser corrigido. Nesse exemplo, caso não tivesse sido realizada a análise, apenas o fusível seria trocado e

aparentemente o problema seria corrigido. Porém, corria-se o risco do problema reaparecer em poucos meses, uma vez que não existia a tela acoplada.

Para cada causa associada ao por quê respondido, deve ser evidenciado que realmente a causa é real e não apenas uma hipótese ou suposição dos investigadores. Por exemplo, na resposta “houve uma sobrecarga e o fusível queimou”, para existir essa resposta na análise, deve ser checado se realmente existiu a sobrecarga e se o fusível queimou. Segundo (Ohno, 1997), na operação de produção de uma fábrica, os fatos são considerados muito importantes; ao surgir um problema, a busca pela causa deve ser completa (dados e fatos), caso contrário as ações corretivas podem ficar desfocadas. Em outras palavras, para cada causa descrita em cada um dos por quês, evidências que provem que a resposta é verdadeira devem ser coletadas.

Ohno (1997) ainda mostra na Tabela 4 abaixo, como através da pergunta dos “por quês”, que o Sistema Toyota implementou algumas de suas ferramentas importantes na Toyota.

Tabela 4: Exemplos de implementação a partir dos 5 por quês (adaptado de Ohno, 1997)

<b>1o Por quê</b>	<b>Resposta</b>	<b>Ação de Implementação (surgida após a análise dos 5 por quês)</b>
Por que uma pessoa na Toyota Motor Company pode operar apenas uma máquina, enquanto que na tecelagem Toyota uma moça supervisiona de 40 a 50 teares automáticos?	As máquinas na Toyota não são programadas para parar quando completa a usinagem.	Automação com toque humano
Por que não podemos fazer este componente usando <i>just-in-time</i> ?	O processo anterior o produz tão rapidamente que não sabemos quantos são feitos por minuto.	Desenvolvida a ideia de sincronização da produção.
Por que estamos produzindo componentes em demasia?	Porque não existe um jeito de manter baixa ou prevenir a superprodução.	Ideia do controle visual, que posteriormente levou à ideia do <i>kanban</i> .

Slack et al. (2002) apontam uma técnica para ajudar a entender as razões da ocorrência de um problema, chamada Análise Por que - Por quê. No presente trabalho esta não foi considerada como um método de ACR, esses autores não a

relacionam desse modo. Como ela possui semelhanças com a Análise dos 5 Por quês, optou-se apenas por citá-la no presente trabalho.

Segundo Slack et al. (2002), a Análise Por que - Por quê inicia com o problema e a pergunta por quê o problema ocorreu. Identifica-se as maiores causas da ocorrência do problema e para estas pergunta-se por quê ocorreram, e assim sucessivamente. Esse procedimento continua até que uma causa pareça suficientemente autocontida.

Na Figura 9 um exemplo da Análise Por que - Por quê, segundo Slack et al. (2002), é apresentado:



Figura 9: Exemplo aplicado a Análise por que – por quê (Slack et al., 2002).

### 3.2

#### Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa é também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe – devido ao formato do diagrama que é parecido com uma espinha de peixe (Campos, 1992; Slack, 2002). Segundo Slack et al. (2002), o Diagrama é um método efetivo de ajudar a se encontrar as causas raízes do problema.

O diagrama inicia-se considerando o efeito, localizado à direita na Figura 10; este efeito pode ser um problema relacionado à qualidade, uma situação desejada, ou qualquer condição descrita claramente. Segundo Campos (1992) e Ishikawa (1993), as palavras que aparecem nas pontas das ramificações do diagrama da Figura 10 são as famílias de causas, que podem ser classificadas como matérias-primas, máquinas, medidas, meio ambiente, mão-de-obra e método – os chamados 6Ms; Campos (1992) ainda os classifica como fatores de manufatura (em se tratando da análise de processo de uma manufatura). Slack et al (2002) apontam que também outras famílias de causas podem ser utilizadas nas pontas das ramificações, dependendo do problema que se esteja investigando. Porém, o uso da categorização utilizando os 6Ms é mais comum, mesmo que em alguns casos nem todos os 6Ms sejam utilizados.

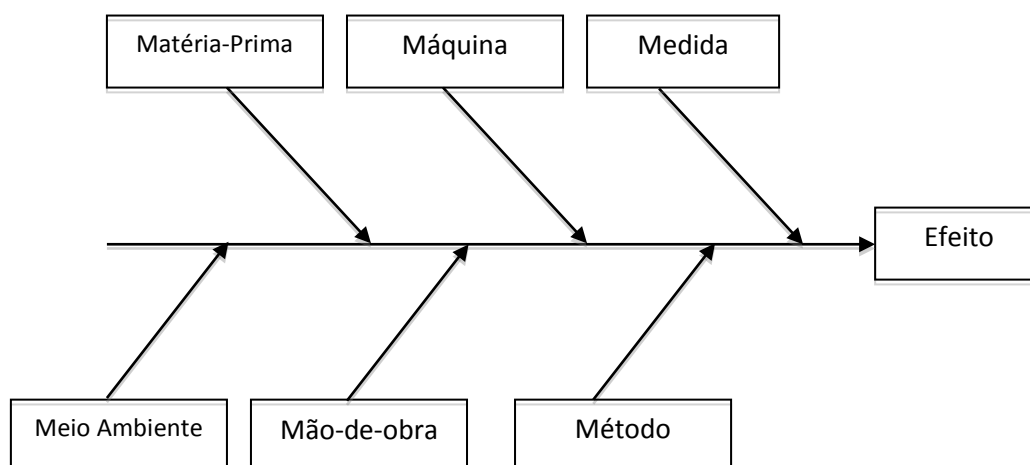


Figura 10: Diagrama de Ishikawa (adaptado de Campos, 1992 , Slack et al., 2002).

Segundo Campos (1992), o diagrama de Ishikawa pode ser entendido como uma representação de processos ou sub-processos; o efeito do processo ou sub-processo é provocado pelas causas, que são por sua vez classificadas dentro dos 6Ms. A busca pela causa é orientada dentro dos 6Ms, como em um *brainstorming* orientado. De acordo com Montgomery (2009), este diagrama é amplamente utilizado para mostrar as várias causas potenciais de defeitos em produtos e suas inter-relações, sendo este tipo de diagrama útil em resumir conhecimento acerca do processo.

Em outras palavras, ainda de acordo com Campos (1992), o diagrama de Ishikawa organiza um conjunto de causas relacionadas a um efeito específico que deseja-se estudar, uma vez que sempre que um efeito (fim, resultado) ocorre, há um conjunto de causas (meios) que podem ter influenciado. O autor ainda relata que este diagrama foi criado para que todos os funcionários da empresa pudessem praticar a separação dos fins de seus meios.

Segundo Juran (1997), o diagrama lista teoria de causas. Por isso, é importante que também as causas encontradas sejam provadas com evidências, para que estas possuam validade e não sejam apenas opiniões sem provas do que realmente ocorreu.

Slack et al. (2002) descrevem um procedimento para desenhar um diagrama de Ishikawa:

- Colocar o problema na caixa de “efeito”;
- Identificar as principais categorias para as causas possíveis do problema; caso se utilize os 6Ms, essa etapa pode ser pulada, porque as categorias já estarão definidas;
- Buscar sistematicamente fatos, dados e discussão em grupos para gerar possíveis causas a serem alocadas dentro das categorias estabelecidas no passo anterior, ou de acordo com os 6Ms. Qualquer coisa que possa resultar no efeito que está sendo estudado deveria ser incorporada como causa potencial;
- Registrar todas as causas potenciais no diagrama sob cada categoria. As causas podem ser combinadas e esclarecidas nesse momento.



Desta maneira, após preenchido com as causas listadas sob cada categoria, o diagrama apresenta setas em cada ramo que representam as causas que foram listadas, em que um exemplo é mostrado na Figura 11.

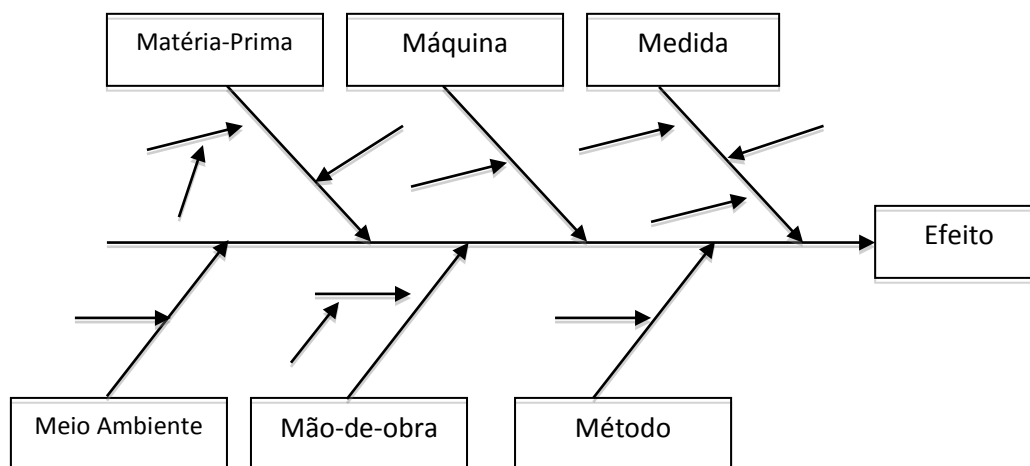


Figura 11: Diagrama de Ishikawa com causas preenchidas (adaptado de Ishikawa, 1993).

É interessante notar no exemplo da Figura 11 que algumas setas que representam causas dentro dos 6Ms estão apontando para outras setas, como nas famílias matéria-prima e mão-de-obra. Nesse caso, significa que uma causa que foi listada teve durante a elaboração da análise uma causa atribuída (causa da causa).

Neste contexto, pode-se realizar uma interligação entre o Diagrama de Ishikawa e o método dos 5 por quês ao se perguntar por quê sucessivas vezes para se encontrar a causa raiz de cada causa dos 6Ms inicialmente listada, até que se chegue na causa raiz, pelo menos de determinado ramo. Neste caso poderia ocorrer a definição de mais de uma causa raiz ou mesmo ao longo do caminho da investigação, descobrir que nem todas as causas são raízes; algumas poderiam ser causas contribuintes. É importante reforçar que para todas as causas listadas, sejam elas contribuintes ou raízes, evidências devem ser buscadas para se provar a veracidade e aderências das causas à realidade em que ocorreu o problema.

Slack et al. (2002) propõem algumas dicas para o uso do diagrama de Ishikawa:

- Utilizar diagramas separados para cada problema/efeito;
- Assegurar que o diagrama esteja visível para todos os envolvidos (folha de papel com bastante espaço, slide);
- Estar preparado para retrabalhar, refinar, separar e mudar categorias e informações, agrupar causas;
- Tomar cuidado para não utilizar declarações vagas como “possível excesso de...” ou “possível falta de ...”;
- Circular as causas que parecem mais significativas para dar destaque.

### 3.3

#### **Ferramentas de Análise de Causa Raiz segundo Ammerman (1998)**

Ammerman (1998) descreve um modelo completo para investigação de incidentes com objetivo de determinar a causa raiz do problema e ações corretivas. Tal modelo possui foco para avaliação de eventos significativos e que envolva erro humano. Avaliar eventos significativos é entendido como atuar em problemas de maior complexidade e impacto no sentido econômico. Assim sendo, se a consequência do problema não é significativa, não é aconselhável aplicar muito esforço em tentar consertar a causa.

Embora avaliar problemas que envolvam erro humano seja o foco maior do método, este também pode ser usado para problemas de equipamentos, ou qualquer outro tipo de ocorrência, de acordo com a necessidade da organização.

Dentro do modelo para investigação de incidente segundo Ammerman (1998), a etapa de análise de causa raiz será estudada no presente trabalho. Esta etapa é composta por 3 ferramentas de análise de causa raiz, que podem ser usadas em conjunto ou separadamente

Deste modo, Ammerman (1998) lista as três ferramentas a seguir como as mais utilizadas para análise de causa raiz de problemas:

- Análise de Barreira de Controle
- Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE)
- Análise de Árvore de Falha (AAF)

Estas três ferramentas serão abordadas com mais detalhes a seguir. Vale mencionar que após a ferramenta GFCE ser utilizada, para que seja concluído o processo de definição da causa raiz do problema, o método da Lista dos Fatores Causais, também descrito por Ammerman (1998) deve ser utilizado, uma vez que a ferramenta GFCE aponta os fatores causais do problema e a Lista de Fatores Causais relaciona fatores causais à causa raiz do problema. Por esse motivo, este método será explicado após todas as ferramentas serem abordadas.

### 3.3.1

#### **Análise de Barreira de Controle segundo Ammerman (1998)**

Barreira de controle pode ser definida como medida auxiliar (física ou administrativa) que faz parte das condições de trabalho e existe para prevenir pessoas ou equipamentos de condições inseguras ou de danos. Tais barreiras são como controles, que existem para evitar que algum erro ocorra ao longo do processo.

A análise de Barreira de Controle consiste em analisar as atividades com foco em onde estão as barreiras físicas ou administrativas de cada processo, e posteriormente poder determinar na ocorrência de um problema, onde estas falharam, ou mesmo se estas existiam.

Segundo Ammerman (1998), há duas maneiras para se realizar a análise:

- Método sozinho: envolve a identificação e avaliação de todas as barreiras de controle do processo;
- Método integrado: envolve superposição de barreiras de controle no Gráfico de Fator Causal e Eventos (outra ferramenta de ACR que será falada mais adiante).

Como realizar a análise de barreiras de controle, de acordo com Ammerman (1998):

**Passo 1:** Identificar todas as barreiras de controle pertencentes à situação problemática;

Caso opte pelo método sozinho, a Tabela 5 abaixo pode ser utilizada. Caso o método integrado seja utilizado, as barreiras serão mostradas no gráfico de fator causal e eventos.

Tabela 5: Tabela de Análise de Barreiras. (Ammerman, 1998).

Consequências	Barreiras que poderiam ter impedido o evento/problema	Avaliação da barreira (por que as barreiras falharam)
<i>(Listar uma de cada vez e não precisa estar em ordem sequencial)</i>	<i>(Identificar todas as barreiras aplicáveis para cada consequência)</i>	<i>(Identificar se a barreira estava faltando, era fraca ou não efetiva e por quê)</i>

**Passo 2:** Avaliar a efetividade de cada barreira de controle e identificar aquelas barreiras aparentes, que falharam e permitiram que o problema ocorresse;

**Passo 3:** Determinar como a barreira falhou;

**Passo 4:** Determinar por que a barreira falhou;

**Passo 5:** Identificar onde caso houvesse barreiras de controle, estas poderiam ter prevenido o problema de ter ocorrido;

**Passo 6:** Validar as informações através de entrevista com especialista.

Ammerman (1998) descreve que para problemas simples somente esta Análise já é suficiente para que a causa raiz do problema seja definida.

Assim, é gerada uma lista indicando se a barreira faltava, era fraca ou falhou, e assim hipóteses para causas raízes dos problema podem ser estabelecidas. Através de evidências, deve-se comprovar a veracidade de tais hipóteses de causas.

### 3.3.2

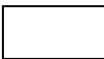
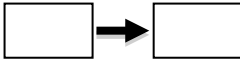

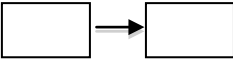







#### Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE) segundo Ammerman (1998)


Esta ferramenta traz uma visão geral do evento, ou seja, ela mostra de maneira gráfica o relacionamento de eventos, condições, mudanças, barreiras, e fatores causais em uma linha de tempo, sendo assim uma poderosa ferramenta de ACR. A sua construção deve começar desde o início da investigação, e o GFCE deve ser alimentado com cada nova informação ao longo da investigação. O

Gráfico deve englobar todos os acontecimentos que ocorreram, desde o início da situação problema até o fim; o fim a ser considerado é a ocorrência do problema.

Para se construir o gráfico, primeiramente deve-se conhecer os símbolos a serem utilizados, de acordo com Ammerman (1998), apresentados na Tabela 6:

Tabela 6: Elementos do GFCE (adaptado de Ammerman, 1998).

Símbolo	Definição/ Explicação
	Evento: ação ou acontecimento ocorrido durante alguma atividade.
	Evento primário: ação ou acontecimento que leva a um efeito primário. A sequência primária de eventos deve ser construída na horizontal. A sequência no tempo em geral é da esquerda para a direita.
	Evento indesejado: evento que foi crítico, ou seja, sua ocorrência foi crucial para a situação analisada ou o problema ocorrer. A grande dificuldade em definir esse evento não é definir a sua ocorrência em si, mas a maneira errônea de definir a sua ocorrência, propiciada por exemplo por condições inadequadas.
	Evento secundário: ação ou acontecimento que impacta o evento primário, mas não está envolvido diretamente na situação. (a diferença entre os eventos primários e secundários estão na espessura da seta). Ele posiciona-se acima ou abaixo da linha de eventos primários.
	Evento terminal: o ponto final da análise. Também é usado para marcar o evento inicial da análise.
	Condições: circunstâncias que podem ter influenciado no curso dos eventos. Podem estar ligadas a outras condições ou a um evento.
	Evento presumível: ação ou acontecimento que logicamente parece ter ocorrido, mas não pode ser provado.
	Fator causal: fator que dá forma ao resultado da situação (de problema)
	Fator causal presumível: fator que é assumido, mas não comprovado (parece afetar outra condição ou evento).
	Barreira: medidas auxiliares (físicas ou administrativas) que fazem parte das condições de trabalho e existem para prevenir pessoas ou equipamentos de condições inseguras ou de danos
	Falha de barreira: falhas nas medidas auxiliares abordadas na linha anterior.

<p>Antes  Depois</p>	<p>Mudança: comparação de uma atividade que tem sido realizada de forma bem sucedida com uma mesma atividade quando está sendo realizada insatisfatoriamente.</p>
---	---

Para construir um GFCE segundo Ammerman (1998), alguns passos devem ser seguidos:

**Passo 1:** Definir o escopo do gráfico a partir de informações iniciais; pode-se optar por usar o ponto de início da sequência de eventos ou o evento final;

**Passo 2:** Verificar as informações iniciais e documentos relacionados ao problema para montar o gráfico;

**Passo 3:** Iniciar a construção do GFCE pelo evento primário, montando assim uma sequência de eventos primários. Inserir eventos secundários e condições no gráfico. Sobre a construção dos eventos no gráfico, vale ressaltar os seguintes cuidados ao determiná-los:

- Devem descrever uma ação ou um acontecimento; cada evento deve descrever uma única ação, de maneira precisa;
- Devem ser descritos com frase curta, com um substantivo e um verbo de ação;
- Devem ser quantificados quando possível;
- Devem ser baseados em fatos;
- Devem seguir logicamente o outro evento que os precedem;

**Passo 4:** Coletar novas informações para o gráfico e adicioná-las; ao montar preliminarmente o gráfico, é comum que se perceba que faltam algumas informações, sendo assim é importante inclui-las no gráfico.

**Passo 5:** Identificar e adicionar fatores causais e barreiras que falharam no gráfico. (ao se adicionar tais barreiras, está se utilizando a ferramenta Análise de Barreira de Controle abordada no tópico anterior em conjunto com a ferramenta do GFCE). Nesta etapa, outras duas técnicas (Análise de Causa e Efeito e Análise de Mudança), não classificadas como métodos de ACR pelo autor mas como

ferramentas auxiliares, podem ser utilizadas para integrar os resultados do GFCE. Estes serão brevemente abordadas abaixo:

- **Análise de Causa e Efeito:** visa estudar as relações de causalidade entre os acontecimentos; abaixo está descrito como realiza-la.
  - Através do GFCE, destacar os eventos indesejados;
  - Analisar os efeitos primários e determinar quais condições ou causas propiciam a ocorrência de tais efeitos;
  - Para cada condição, perguntar por quê essa condição existiu; a condição deve ser tratada como um efeito e ter suas causas determinadas;
  - Repetir os passos anteriores até que: a causa esteja fora do controle da empresa para que seja corrigida e até que os efeitos primários estejam totalmente explicados. OBS.: para a atribuição de causas, é necessário que se utilize a Lista de Fatores Causais, método que será explicado posteriormente.
- **Análise de Mudança:** visa estudar qual o processo padrão que deveria ocorrer e qual efetivamente ocorreu durante a situação problemática; abaixo está descrito como realizá-la:
  - Comparar as etapas relativas a situação em que não ocorreu o problema e a situação em que ocorreu o problema;
  - Detalhar as diferenças entre os dois processos, destacando qual o efeito da diferença.

**Passo 6:** Identificar ações corretivas tomadas e necessárias. As ações levantadas devem ser baseadas em barreiras que falharam e fatores causais; as ações devem ser baseadas em fatos reais e serem possíveis de serem realizadas.

Assim, com toda a informação levantada sobre o problema e juntamente com a Lista de Fatores Causais, hipóteses para causas raízes dos problema podem ser levantadas, e através de evidências, deve-se comprovar a veracidade de tais causas.

Na Figura 12 é possível visualizar um exemplo de GFCE montado. Nesta figura, o objetivo é representar apenas a aparência do gráfico montado, sem entrar nos detalhes da investigação que levou ao gráfico ter esta forma.

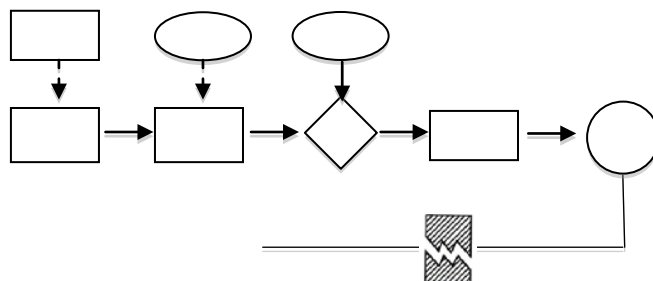


Figura 12: Exemplo de GFCE. Adaptado de Ammerman (1998).

### 3.3.3

#### Análise de Árvore de Falha

Embora Ammerman (1998) cite este método, ele não aborda os detalhes do mesmo. Segundo Cauchick (2011), a Análise de Árvore de Falha - AAF (ou ainda em inglês conhecida como *Fault Tree Analysis* – FTA) originou-se na *Bell Telephone Laboratories*, nos Estados Unidos em 1961, com o objetivo de avaliar o grau de segurança do sistema de controle de lançamento dos mísseis Minuteman. Posteriormente, tal método foi adaptado para ser utilizado em outros contextos, tais como análise de processos industriais e administrativos, projetos de máquinas e equipamentos dentre outros. Tal método também é conhecido segundo Heuvel et al. (2008) por Análise de Árvore de Causa e Efeito; o autor também aborda que este tipo de Análise é a melhor ferramenta para problemas de *software*, equipamentos e problemas crônicos, além de também poder ser aplicada a erros associados a projeto ou erros operacionais (por exemplo, um equipamento pode possuir um desempenho dentro do esperado de acordo com o planejado, porém o desempenho não é suficiente para que um problema não ocorra – isso caracterizaria um erro de projeto).

De acordo com Cauchik (2011) e Huevel et al. (2008), esta análise consiste em, através de um diagrama lógico, determinar como uma anomalia em um sistema pode ser causada por uma falha ou uma combinação de falhas de seus componentes e subsistemas. Definições de eventos e portas lógicas são utilizadas








para entender possíveis razões e combinações de razões que tenham gerado a falha, ou seja, através de eventos conectados por portas lógicas chega-se ao final da análise, na causa raiz do problema.

A Tabela 7 mostra as simbologias de conectores e eventos, segundo Limnios (2007), a serem utilizadas para realização da Análise:

Tabela 7: Simbologia para eventos e portas lógicas (Limnios, 2007).

Símbolo Gráfico	Nome	Significado	Classificação
	OU	A saída é gerada se no mínimo uma das entradas existir	Operadores Fundamentais
	E	A saída é gerada se todas as entradas existirem	
	OU exclusivo	A saída é gerada se uma e somente uma entrada existir	Operadores Especiais
	Prioridade ou SE sequencial	A saída é gerada se todas as entradas existirem, com uma ordem de aparecimento.	
	SE	A saída é gerada se a entrada existir e se a condição C for verificada	
	Combinação k dado n	A saída é gerada se k dado n existir ( $1 \leq k \leq n$ )	
	Matriz	A saída é gerada para certas combinações de entradas	
	Atraso	A saída é gerada com um atraso $\Delta t$ sobre a entrada que deve estar presente durante $\Delta t$	
	Não	A saída é gerada quando a entrada não é produzida	
	Retângulo	Evento de topo ou intermediário	Eventos
	Círculo	Evento básico elementar	
	Losango	Evento básico não elementar	

	Losango duplo	Evento que é considerado básico nesta etapa e será analisado posteriormente	
	Casa	Evento considerado sendo normal	
	Transferidor idêntico	A parte da árvore que deve seguir não é indicada, uma vez que é idêntica à parte etiquetada pelo último símbolo.	Triângulos de transferência
	Transferidor idêntico	A parte da árvore que deve seguir não é indicada, uma vez que é similar à parte etiquetada pelo último símbolo.	
	Identificação do transferidor	Marca uma sub-árvore idêntica ou similar que não é de outra maneira retomada	

A seguir são descritos os passos para desenvolver a análise, segundo Cauchick (2011).

**Passo 1:** Iniciar a análise a partir do problema, denominado “evento de topo”. De acordo com AAF este é definido como um estado considerado anormal do sistema, causado por fatos normais ou não.

**Passo 2:** Para o evento de topo, determinar quais seriam os eventos que em conjunto ou separadamente que o causaram. Os eventos aqui, também podem ser chamados modos de falha.

**Passo 3:** Determinar para os eventos da etapa anterior quais seriam os eventos que em conjunto ou separadamente os causaram. Repetir sucessivamente este passo até que se chegue aos eventos associados a falhas básicas.

Para construção da árvore, os operadores devem estar ligados a eventos, de modo que para cada relação de causalidade do problema, os operadores adequados sejam escolhidos.

A Figura 13 apresenta um exemplo da árvore de falha montada. Nesta figura, o objetivo é representar apenas a aparência da árvore montada, sem entrar nos detalhes da investigação que levou ao gráfico ter esta forma.

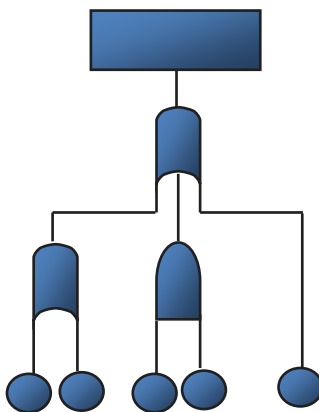


Figura 13: Exemplo de árvore de falha. Elaborado pela autora.

Huevel et al. (2008) comenta que ao serem formados os ramos das árvores, as causas que vão sendo atribuídas devem ser comprovadas através de evidências. Caso algum ramo não possa ser evidenciado com dados, este pode ser abandonado. Quando os eventos associados a falhas básicas são encontrados, aí sim chegou ao final da análise.

### 3.3.4

#### Lista de Fatores Causais

Ammerman (1998) define fator causal como o fator que dá forma ao resultado de uma situação ocorrida. Assim, segundo o mesmo autor, a Lista de Fatores Causais é um método lógico para estratificar possíveis fatores causais, tanto para problemas relacionados a fatores humanos como relacionados a equipamentos. Além de possuir o objetivo de determinar causas raízes uma vez que o GFCE tenha sido elaborado, tal método também funciona como um guia de planejamento no início da investigação e uma fonte de análise intermediária para que se determine se mais informações são necessárias.

A Lista é dividida nas categorias: problemas de desempenho humano, problemas de desempenho de máquina e forças externas. Na Tabela 8, encontra-se a lista com todos os tipos de fatores causais.

Tabela 8: Tipos de fatores causais.

<b>Categoria</b>	<b>Fator Causal</b>
Problemas de desempenho humano	Comunicação Verbal
	Documentos e procedimentos escritos
	Interface Homem-Máquina
	Condições ambientais
	Cronograma de trabalho
	Prática de trabalho
	Planejamento/organização de trabalho
	Métodos de supervisão
	Método de qualificação/ treinamento
	Gestão da mudança
	Gestão de recursos
	Métodos de gestão
Problemas de desempenho de equipamento	Configuração/ projeto e análise
	Condição do equipamento
	Condições ambientais
	Especificação de equipamento de manufatura e construção
	Manutenção/ teste
	Operação de equipamento/ sistema
Forças externas	Além do controle usual da empresa

Fonte: Ammerman (1998)

Cada um dos fatores causais possui uma extensa lista com definição, exemplos e opções de causas raízes associadas. Esta lista para cada um dos fatores causais é mostrado no Anexo I deste trabalho.

Algumas vezes, além da causa raiz, é atribuído ao fator causal um modificador – algum meio que caso seja utilizado incorretamente pode ter provocado ou contribuído para a ocorrência do problema.

Para que seja entendido com mais detalhes o método, será tido como exemplo, através da Tabela 9, o fator causal manutenção/ teste. A lógica utilizada para este será a que deve ser utilizada para explicar os demais fatores causais do Anexo I.

## Fator causal associado a desempenho de equipamento: Manutenção/ teste

Tabela 9: Fator causal manutenção/ teste (adaptado de Ammerman, 1998).

Definição	O processo de assegurar que componentes/ sistemas são mantidos nas condições ótimas e testados para operação.
Exemplos	Manutenção inadequada, teste pós-manutenção insuficiente, manutenção preventiva inadequada, controle da qualidade inadequada.
Modificador – tipo de manutenção/ teste	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Manutenção corretiva</li> <li>b. Manutenção preventiva</li> <li>c. Teste pós-manutenção</li> <li>d. Requisição trabalho de manutenção</li> <li>e. Vigilância</li> </ul>
Causa raiz	<p>Manutenção:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Desempenho da manutenção corretiva não consertou o problema</li> <li>b. Outros problemas notados durante o desempenho das atividades de manutenção não foram corrigidos</li> <li>c. Remontagem inapropriada de componentes</li> <li>d. Manutenção preventiva inadequada</li> <li>e. Manutenção preventiva não realizada</li> <li>f. Trabalho na proximidade contribuiu para a falha</li> <li>g. Outro (especificar)</li> </ul>
	<p>Teste:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Teste requerido não realizado</li> <li>b. Pós-manutenção/ teste de modificação inadequado</li> <li>c. Re-teste atrasado</li> <li>d. Teste não realizado conforme agendado</li> <li>e. Teste não especificado</li> <li>f. Critério de aceitação de teste não especificado ou não definido claramente</li> <li>g. Equipamento de teste impróprio</li> <li>h. Resultados de teste não revisados para aceitação por pessoal apropriado</li> <li>i. Outros (especificar)</li> </ul>
	<p>Controle da qualidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Controle de qualidade não requerido</li> <li>b. Controle da qualidade não chamado ou informado</li> <li>c. Controle da qualidade não realizado</li> <li>d. Requisitos de controle da qualidade inadequados</li> <li>e. Inadequada exclusão de material estranho</li> <li>f. Inadequado/ incorreto item sobressalente</li> <li>g. Outros (especificar)</li> </ul>

Neste exemplo o fator causal manutenção e teste pode ser definido como “o processo de assegurar que componentes/ sistemas sejam mantidos nas condições ótimas e testados para operação.” Este fator causal engloba todo tipo de falhas, não ocorrência ou inadequação em manutenção ou teste relativo a determinado equipamento. O modificador neste caso seria em qual tipo de manutenção ou de teste ocorreu a falha, inadequação ou mesmo a não ocorrência. E por último há três opções de categoria de causa raiz: manutenção, teste, ou controle de qualidade.

Neste ponto, chega-se a etapa de definição da causa raiz (e das causas contribuintes caso existam). Segundo Ammerman (1998), o processo usado geralmente para determinar a causa raiz e a sua definição é o definido abaixo.

1. Formular hipóteses de causas presumíveis: elaborar frase associada à causa que mostre claramente a causa e o efeito do problema.
2. Testar/ validar causas presumíveis (através de processo interno): deve-se usar lógica e bom senso nesta etapa, para avaliar se a causa listada faz mais sentido ser classificada como causa raiz, secundária ou possível. Por isso, para cada causa, deve-se perguntar: “se eu consertá-la, estarei prevenindo a recorrência do problema?” e também: “se a causa presumível é a causa raiz, como é explicada a situação problemática assim como as situações similares? Se ao consertar a causa esta não prevenir a recorrência e se a causa não explicar o problema e situações similares, então a causa não pode ser considerada causa raiz do problema, e sim uma causa contribuinte.
3. Separar as causas raízes de causas contribuintes (secundárias ou possíveis): deve-se responder a três perguntas para cada causa que está sendo avaliada, se a resposta for “sim”, a causa é raiz, se a resposta for não, a causa é contribuinte.
  - O problema não ocorreria se a causa não ocorresse?
  - O problema não ocorreria novamente devido ao mesmo fator causal se a causa é corrigida ou eliminada?

- Correção ou eliminação da causa irá prevenir a recorrência de condições similares?

Esta etapa na verdade é uma dupla verificação do tópico anterior, que inicia a separação dos tipos de causa.

4. Verificar as causas raízes (processo de verificação externo): esta etapa somente é necessária caso ainda exista dúvidas sobre a causa raiz do problema. Pode-se utilizar nesta etapa o seguinte *checklist*, que testa a “sanidade” dos dados. A participação de um especialista é fundamental nesta fase.

Fatos a serem cruzados para consistência:

- Avaliações presenciais
- Evidências físicas
- Registros e *softwares*
- Testemunho de *experts*
- Informação da engenharia
- Informações analíticas

Análises a serem cruzadas com os fatos verificados:

- Análise de barreira de controle
- Análise de mudança
- Análise de fator causal e evento
- Outros

Resolver inconsistências e discrepâncias.

Podem ser também implementadas ações corretivas (como mais um elemento de experimentação) para que se verifique os efeitos desta e se chegue a conclusões quando o problema foi resolvido. Assim, com a causa raiz ou as causas raízes definidas, é possível reportá-las e tomar ações corretivas para que os problemas não voltem a ocorrer.

### 3.4

#### Mapa de Causa Raiz™ da ABS Consulting

A metodologia para análise de causa raiz da ABS Consulting, Mapa de Causa Raiz, (*Root Cause Map*™) é parte do método de investigação de incidentes, chamado SOURCE (*Seeking Out the Underlying Root Causes of Events*, ou em português, buscando as causas raízes de eventos), também desenvolvido pela ABS Consulting. Segundo Heuvel et al. (2008), este método de análise de causa raiz é utilizado comumente para cumprimento a requisitos regulamentares e padrões industriais; é também um método complexo de analisar a causa raiz do problema, por isso deve ser utilizado também para problemas com impactos ou consequências críticas.

Alguns conceitos iniciais aplicáveis ao método devem ser entendidos, para correta aplicação deste, de acordo com Heuvel et al. (2008):





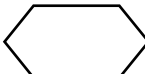
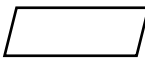

- causas raízes: são problemas subjacentes que permitiram os fatores causais ocorrerem.
- fator causal: pode ser classificado como uma falha de equipamento ou humana, que causa um incidente, permite um incidente ocorrer ou permite que as consequências de um incidente sejam piores que eles deveriam ser. Ou seja, é um *gap* de desempenho humano ou de máquina, que é caracterizado pela diferença entre o desempenho requerido e o desempenho obtido. Pode também ser entendido como um evento ou condição que não se quer que ocorra novamente.

Em resumo, uma vez que exista um problema (como, por exemplo, um incidente), existirão fatores causais, que por sua vez foram gerados por causas raízes (uma ou mais causas).

O Mapa de Causa Raiz™ é composto pelos elementos apresentados na Tabela 10.



Tabela 10: Elementos do Mapa de Causa Raiz (adaptado de Heuvel et al., 2008).

Símbolo	Definição
	Tipo de fator causal
	Categoria de problema
	Categoria de causa raiz maior
	Causa raiz próxima
	Causa intermediária
	Tipo de causa raiz
	Causa raiz

Estes elementos estão distribuídos ao longo do Mapa, e para cada um deles existe um número atribuído. Assim sendo cada elemento é chamado de nó e possui seu próprio número. Nas Figuras 14a e 14b são mostradas a primeira e segunda partes da estrutura do Mapa de Causa Raiz™. O Anexo II do trabalho possui uma tabela com todos os elementos que foram descritos nas Figuras 14a e 14b.

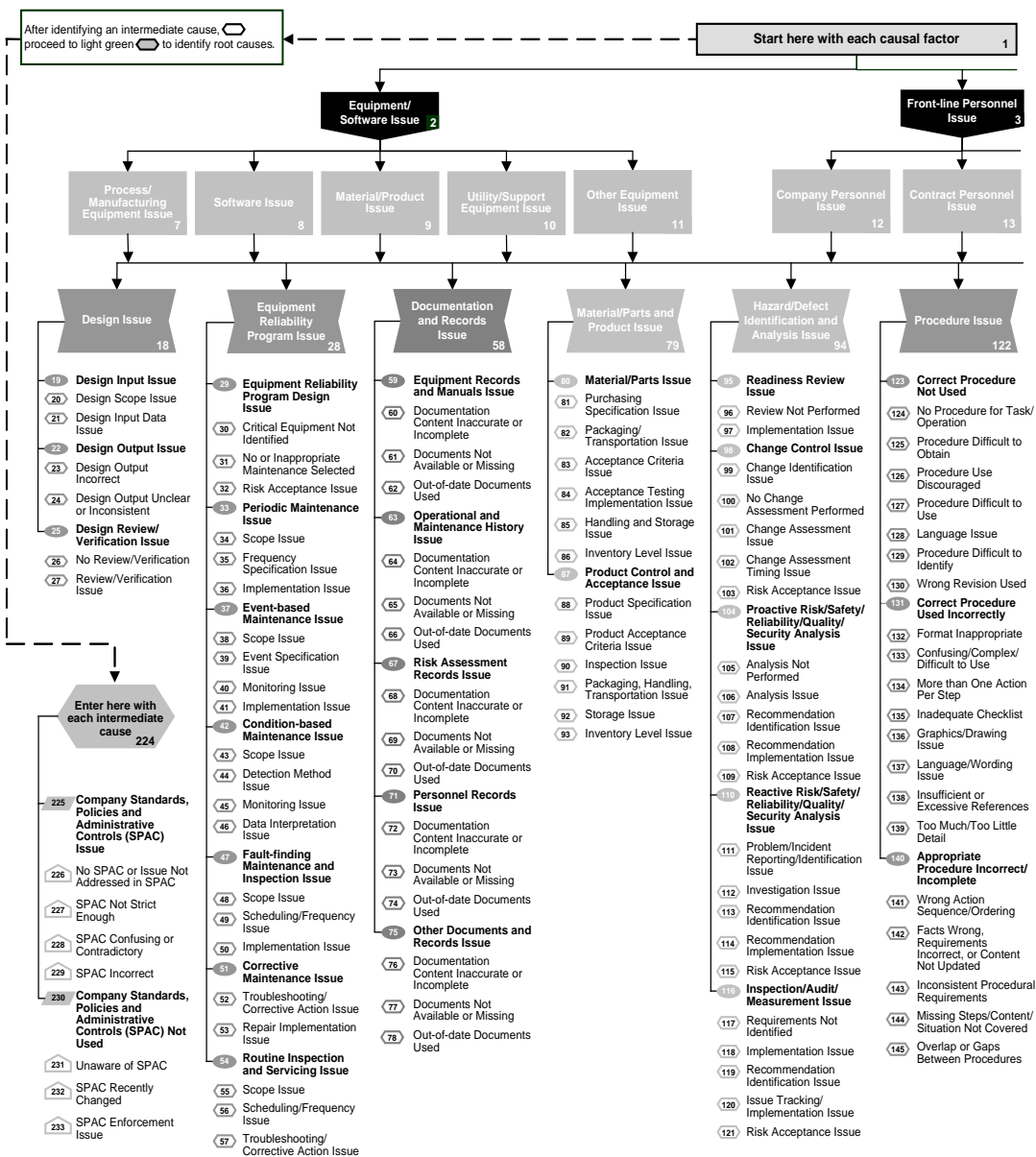


Figura 14a: Primeira parte do Mapa de Causa Raiz <sup>TM</sup> (Heuvel et. al., 2008)

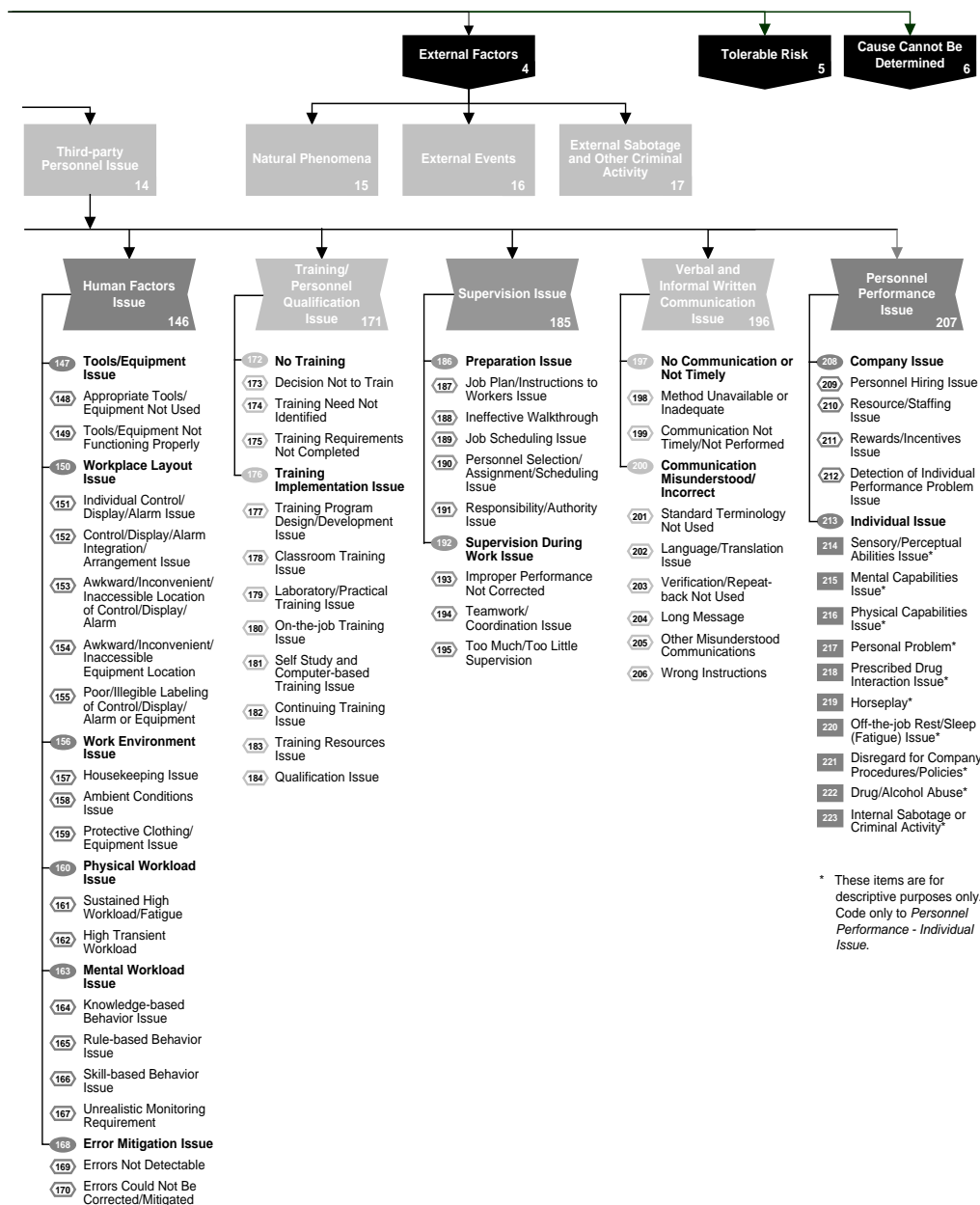


Figura 14b: Segunda parte do Mapa de Causa Raiz <sup>TM</sup> (Heuvel et. al., 2008)

Segundo Heuvel et al. (2008), este método funciona como um *checklist* gráfico, em forma de árvore, para auxiliar na identificação das causas raízes. A parte superior (itens 2 e 3) indica o tipo de fator causal, se associado a equipamento ou a fator humano. Em geral, itens associados a problemas de equipamento aparecem na parte esquerda da figura e itens associados a fator humano mais para o centro, mas isso não é uma regra, uma vez que um erro associado a fator humano pode ter suas causas associadas a uma falha de equipamento e vice-versa, dependendo das causas associadas ao fator causal e consequentemente ao problema. Heuvel et al. (2008) também citam que a

estrutura e terminologia do método pode ser modificada para adequar-se a cultura e sistema de gestão da organização que o está utilizando.

Para iniciar a utilização do Mapa de Causa Raiz da ABS Consulting™ é necessário que antes se defina o fator causal do problema. Para tal definição, Heuvel et al. (2008) abordam 3 métodos que eles classificam como técnicas de análise de dados, que são:

- Análise de Árvore de Causa e Efeito
- Linhas de Tempo
- Gráficos de Fator Causal

Cada um dos métodos será abordado abaixo.

### **Análise de Árvore de Causa e Efeito**

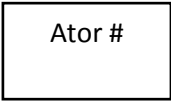



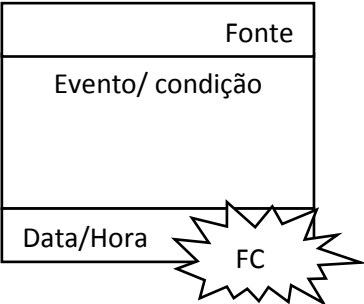
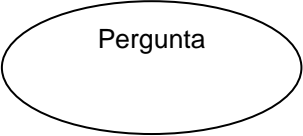
Este método, também conhecido como Análise de Árvore de Falha (AAF), já foi explicado no item 3.3.3 deste trabalho. Segundo Heuvel et al. (2008), este método deve ser utilizado para coletar dados necessários para identificar fatores causais, ou seja, as causas básicas provenientes da AAF são os fatores causais, que depois serão utilizados para o Mapa de Causa Raiz da ABS Consulting™.

### **Linha de Tempo**

Segundo Heuvel et al. (2008), Linha de Tempo é um método que estabelece a ordem correta de acontecimentos no tempo para os eventos e indica a janela de tempo de interesse para o problema. Consiste em alocar os eventos nas suas respectivas janelas de tempo que ocorreram. Após ser identificado o problema, as Linhas de Tempo são construídas do início para o fim.

Na tabela 11 estão os principais elementos que compõem o método.

Tabela 11: Elementos para construção da Linha de Tempo (adaptado de Heuvel et al., 2008)

Elemento	Definição
	<p>Atores – podem ser pessoas, parâmetros ou equipamentos, que realizaram alguma ação (evento) ao longo do processo relativo a problema. Ao lado do nome do ator, coloca-se o número de atores similares caso estejam presentes (exemplo: máquina 1, máquina 2, etc).</p>
	<p>Este bloco representa um evento ocorrido. É composto por:</p> <p>Fonte – fonte de informação relacionada ao evento descrito.</p> <p>Evento/ condição – acontecimento descrito pelas fontes, integrante do grupo de todos os acontecimentos que antecederam a ocorrência do problema.</p> <p>Data/ Hora: data e hora de ocorrência do evento/ condição.</p>
	<p>Este bloco representa o evento de perda, ou problema que está sendo investigado. É identificado em um bloco preto, à direita da Linha de Tempo. Possui os mesmos elementos descritos na linha anterior desta tabela.</p>
<p>Símbolo do Fator Causal</p>  <p>Evento caracterizado como Fator Causal:</p> 	<p>Fator Causal - falha de equipamento ou humana que causa um incidente, permite um incidente ocorrer ou permite que as consequências de um incidente sejam piores que elas deveriam ser. Devem ser identificadas nos eventos mapeados na Linha de Tempo, na forma indicada no bloco ao lado.</p>
	<p>A pergunta deve ser mapeada quando houver alguma dúvida durante a construção da Linha de Tempo.</p>

A seguir, estão os passos para se construir a Linha de Tempo, de acordo com Heuvel et al. (2008):

**Passo 1:** Identificar o evento de perda (problema)

**Passo 2:** Identificar os atores chaves (exemplos: pessoas, parâmetros, e equipamento)

**Passo 3:** Desenvolver os blocos de construção representando eventos ou condições que ocorreram e posicioná-los na linha de tempo; os mais antigos devem ficar mais à esquerda e os mais recentes mais à direita. Em caso de eventos que ocorreram em paralelo, estes devem ficar posicionados na mesma direção verticalmente (mesma coluna). A construção dos blocos deve obedecer a quatro regras básicas, conforme descrito abaixo:

- Cada bloco deve possuir uma frase completa
- Utilizar apenas uma ideia por bloco; evitar utilizar dentro do bloco palavras como “porque”, “resultou em”, “então” ou qualquer outra que dê ideia de consequência dentro do mesmo bloco
- Ser o mais específico possível; cada bloco deve responder “quem”, “o quê”, “onde”, “quando” e “como”. Utilizar quantidades quando possível é aconselhável.
- Registrar a fonte de informação utilizada para a descrição do evento; assim é mais fácil resolver possíveis inconsistências de informações.

**Passo 4:** Identificar fatores causais e itens para anotação (itens de atenção)

Caso haja algum ponto em que a equipe que está construindo a Linha de Tempo fique em dúvida, este deve ser representado em forma de pergunta para que se obtenha novos dados que possa responde-la.

Na Figura 15 está a representação de uma linha de tempo. Ao final da construção da Linha, os fatores causais serão indicados nesta e a partir daí, pode-se partir para a elaboração do Mapa.

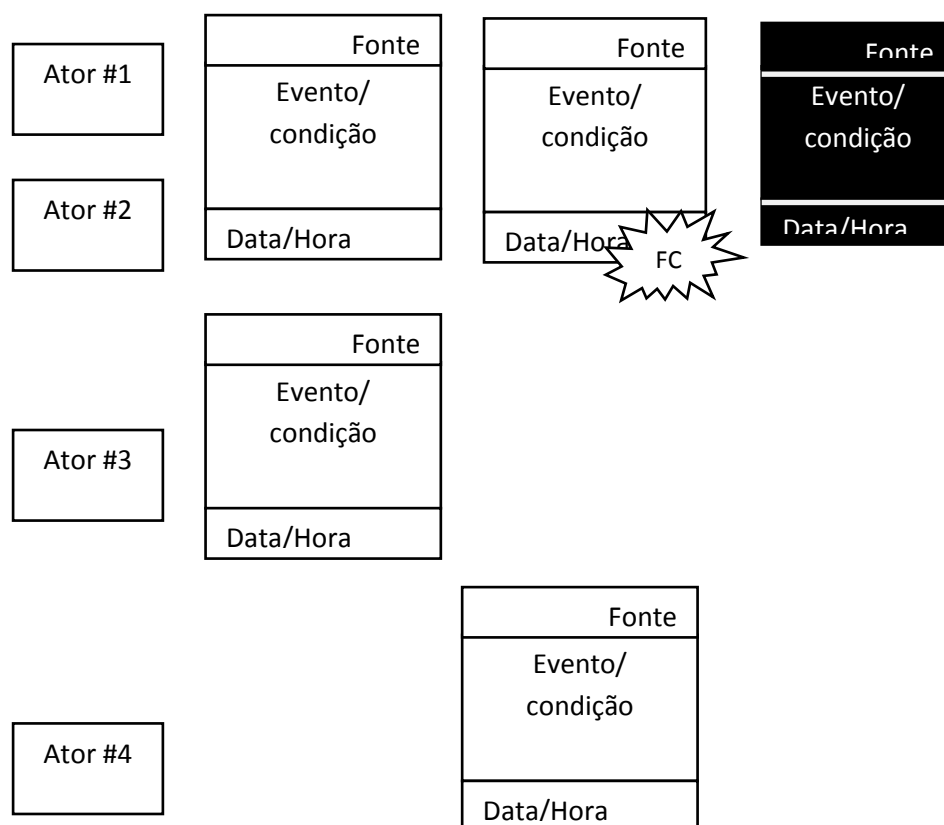


Figura 15: Representação do método Linha de Tempo (adaptado de Heuvel et al., 2008).

## Gráfico de Fator Causal

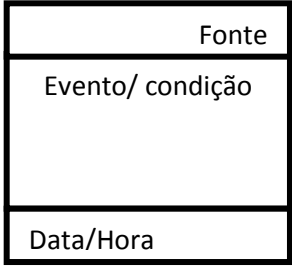
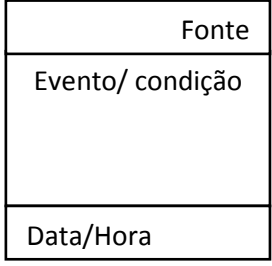
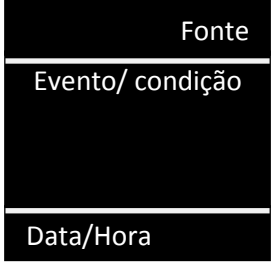
O Gráfico de Fator Causal estabelece a ordem relativa dos acontecimentos e seleciona a janela de tempo desejada para a investigação do problema. Ele é um misto do método da Linha de Tempo, porém também aborda as razões de causalidade de outros eventos, e não só a ordem de acontecimento no tempo.

O Gráfico de Fator Causal, segundo Heuvel et al. (2008), é em geral similar ao Gráfico de Fator Causal e Evento trazido por Ammerman (1998) no tópico 3.3.2, porém a forma de representar os elementos e algumas particularidades diferem, mas ambos possuem o objetivo de definir os fatores causais, muito embora Heuvel et al. (2008) classifiquem este método como uma técnica de análise de dados e Ammerman (1998) a classifique como ferramenta de análise de causa raiz. O Gráfico de Fator Causal possui várias semelhanças com o método da Linha de Tempo, como por exemplo os blocos que são construídos



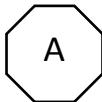
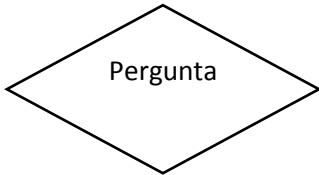
para os eventos e a representação no tempo. Porém, ele é um método com algumas particularidades a mais, que serão abordadas ao longo deste tópico.

Na Tabela 12, de acordo com Heuvel et al. (2008), estão os principais elementos que compõem o método.

Tabela 12: Elementos para construção do Gráfico de Fator Causal (adaptado de Heuvel et al., 2008)

Elemento	Definição
	<p>Evento principal: este bloco representa um evento ocorrido e compõem a linha de eventos principais. Por isso possui o contorno com linhas mais grossas. É composto por:</p> <p>Fonte – fonte de informação relacionada ao evento descrito.</p> <p>Evento/ condição – acontecimento descrito pelas fontes, integrante do grupo de todos os acontecimentos que antecederam a ocorrência do problema.</p> <p>Data/ Hora: data e hora de ocorrência do evento/ condição.</p>
	<p>Este bloco representa dois elementos: eventos e condições, e eventos e condições menos significativos.</p> <p>Eventos e condições: sua função é explicar porque os eventos da linha principal ocorreram. Estes estão conectados ao evento principal através de uma seta, e possui a linha de contorno mais fraca. Posicionam-se acima da linha de eventos principais.</p> <p>Eventos e condições menos significativos: sua função é ajudar a explicar o incidente e estão localizados no gráfico abaixo da linha de eventos principais.</p> <p>O bloco possui os mesmos elementos descritos na linha anterior desta tabela.</p>
	<p>Este bloco representa o evento de perda, ou problema que está sendo investigado. É identificado em um bloco preto, à direita da Linha de Tempo. Possui os mesmos elementos descritos na linha anterior desta tabela.</p>



<p>Símbolo do Fator Causal</p> <div></div> <p>Evento caracterizado como Fator Causal:</p> <div><table><tr><td>Fonte</td></tr><tr><td>Evento/ condição</td></tr><tr><td>Data/Hora</td></tr></table><div></div></div>	Fonte	Evento/ condição	Data/Hora	<p>Fator Causal - falha de equipamento ou humana que causa um incidente, permite um incidente ocorrer ou permite que as consequências de um incidente sejam piores que eles deveriam ser. Devem ser identificadas nos eventos mapeados na Linha de Tempo, na forma indicada no bloco ao lado.</p>
Fonte				
Evento/ condição				
Data/Hora				
<div></div>	<p>Conector: utilizado para conectar o Gráfico quando é necessário utilizar páginas diferentes. Caso haja mais de um conector, as letras vão diferenciando-se.</p>			
<div></div>	<p>A pergunta deve ser mapeada quando houver alguma dúvida durante a construção do Gráfico.</p>			

Para se construir os blocos, as quatro regras de construção devem ser observadas, assim como já discutido anteriormente, no tópico relacionado ao método de Linha de Tempo.

Eventos sem importância ou insignificantes, que não afetam a análise não são acrescentados ao gráfico. Em alguns casos na análise, pode-se também identificar blocos como itens de anotação (mesma simbologia usada para fatores causais, só que com as iniciais IA); os itens de anotação são pontos de atenção que devem ser destacados na investigação. Caso haja algum ponto em que a equipe que está construindo o Gráfico fique em dúvida, este deve ser representado em forma de pergunta para que se obtenha novos dados que possam responde-la. Outro ponto relevante é que o gráfico deve ser construído de trás para frente, começando pelo evento de perda, e voltando evento por evento no tempo, embora

a sua leitura deva ser realizada da esquerda para direita – início dos eventos até ocorrência do problema. Na Figura 16 abaixo está um exemplo do Gráfico.

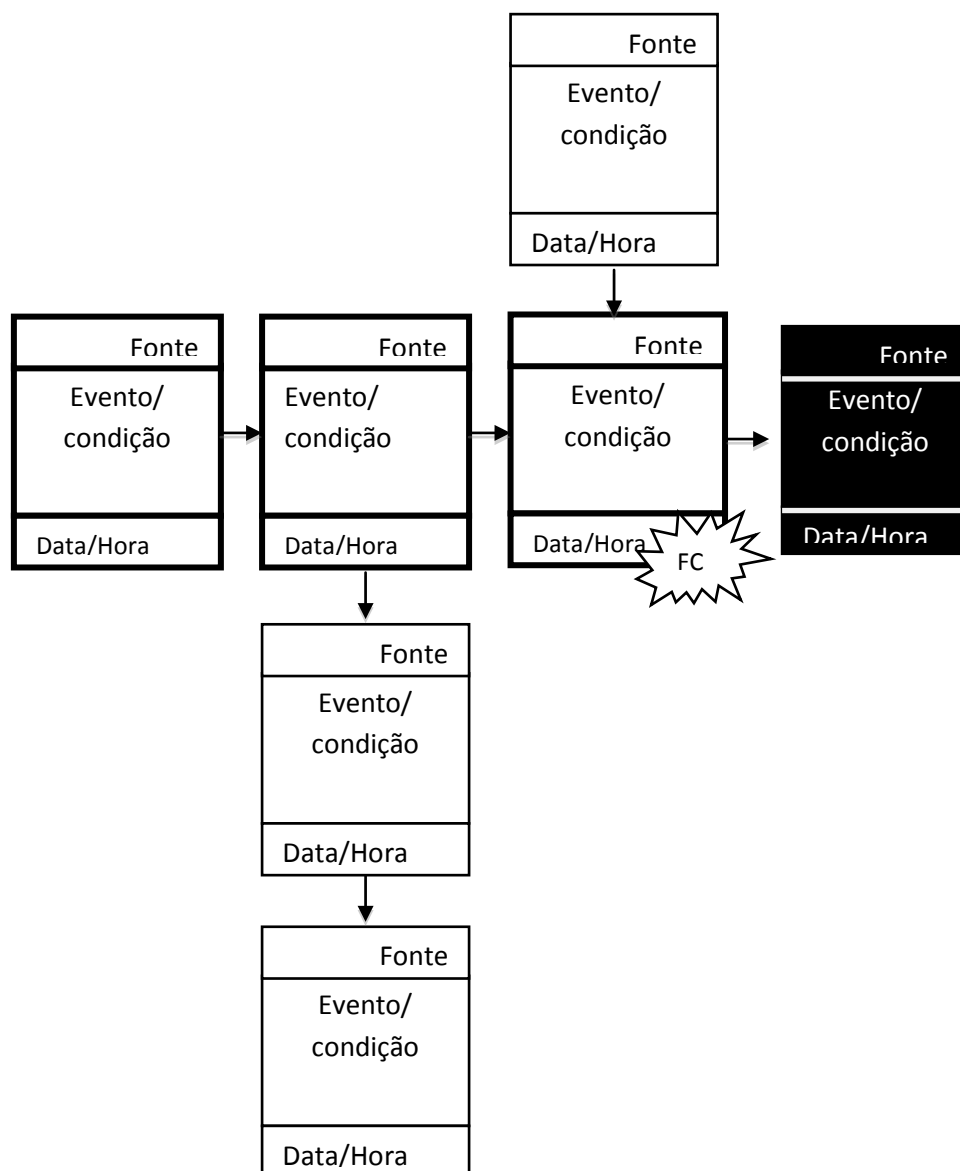


Figura 16: Representação do método Gráfico de Fator Causal (adaptado de Heuvel et al., 2008).

Ao final da construção do Gráfico, os fatores causais serão representados neste e a partir daí, pode-se partir para a elaboração do Mapa.

## Passo a passo para construção do Mapa de Causa Raiz™ da ABS Consulting

De posse dos fatores causais, advindo de um dos 3 métodos mencionados anteriormente, Heuvel et al. (2008) listam os 5 passos chave para utilizar o Método:

**Passo 1:** Selecionar o fator causal (ou item de anotação);

**Passo 2:** Gerar uma lista com os *gaps* de desempenho relevantes do sistema de gestão relacionados ao fator causal (ou item de anotação) selecionado. Nesta fase, a equipe de investigação deve realizar um *brainstorming* sobre as causas raízes prováveis e relevantes para o fator causal analisado. O Mapa de Causa Raiz ainda não é requerido nessa fase.

**Passo 3:** Cada causa levantada na etapa anterior deve ser codificada, ou seja, atribuído o número do nó específico, de acordo com o Mapa.

**Passo 4:** Utilizar o Mapa como um *checklist* para simular se mais alguma causa raiz potencial pode ser apontada. Embora haja a atividade de *brainstorming* no passo 2, isso serve para verificar se a equipe não está esquecendo de alguma causa raiz potencial.

**Passo 5:** Documentar os resultados da análise na Tabela 13 abaixo. Na primeira coluna, além do fator causal, advindos de um dos 3 métodos da análise de dados, o contexto do fator causal, como, por exemplo, “por que o fator causal é importante”, pode ser descrito. Na segunda coluna, deve-se colocar todo o caminho percorrido no mapa, desde o tipo de fator causal até a causa raiz. Ao lado da descrição de cada nó, colocar o número correspondente entre parênteses. O contexto também deve ser apontado na segunda coluna, indicando a razão pela qual o caminho específico descrito foi escolhido. E por último, na coluna de recomendações, destinada à ação corretiva a ser tomada, deve também ser colocado o responsável pela implementação da recomendação e o nível da recomendação (nível 1: relativa ao fator causal, nível 2: relativa a causa intermediária, nível 3: relativa a problemas similares, nível 4: relativa a causa raiz).

Tabela 13: Formulário resumo de Causa Raiz (adaptado de Heuvel et al., 2008).

Fator Causal	Trajeto percorrido no Mapa de Causa Raiz™	Recomendações

A Figura 17 abaixo representa o caminho tomado em uma análise, apenas hipotética. É interessante notar que o Mapa realmente fornece um caminho a ser percorrido até que se encontre a causa raiz do problema.

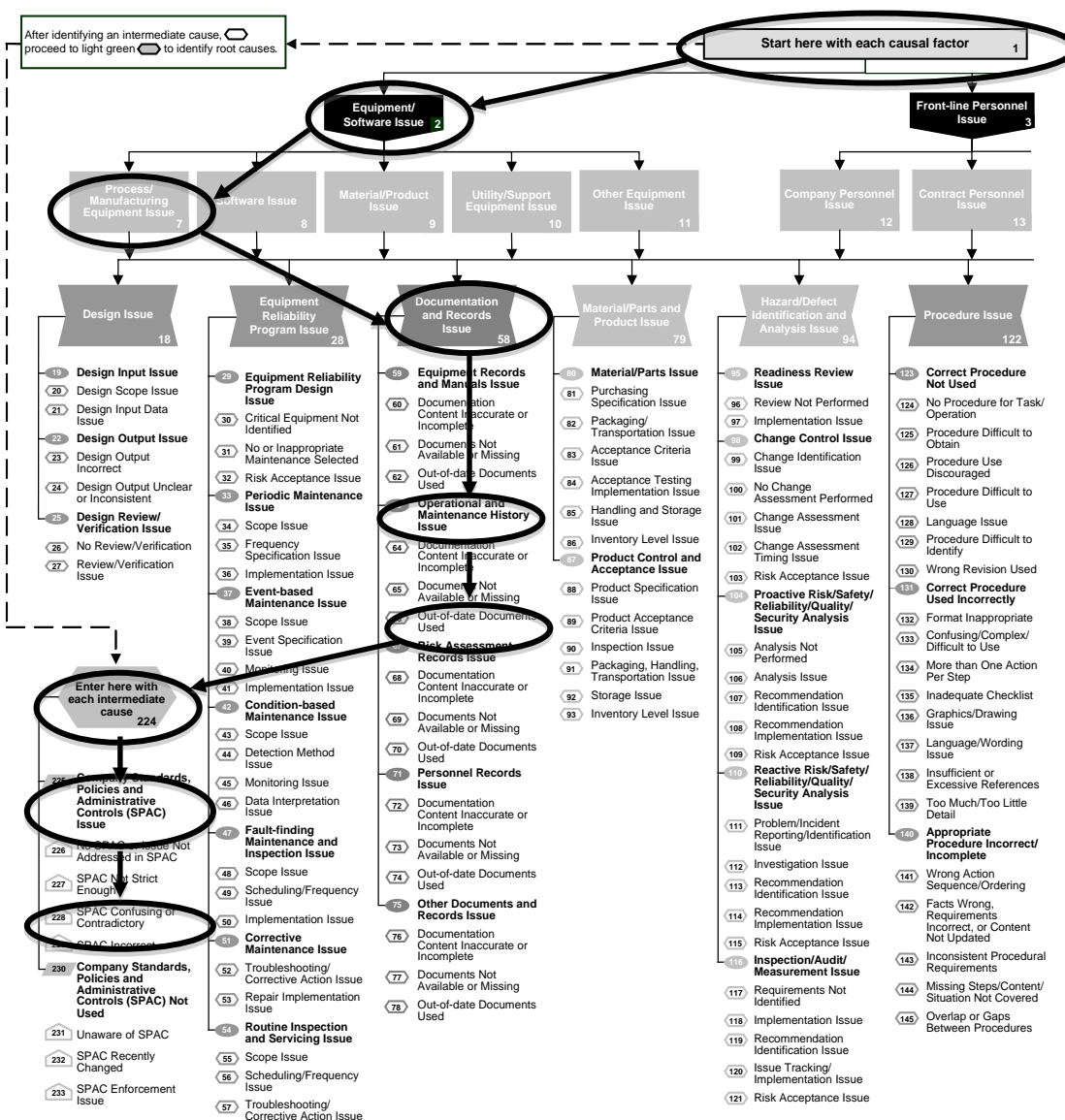


Figura 17: Exemplo de caminho percorrido no Mapa de Causa Raiz™ (adaptado de Heuvel et al., 2008)

Observações do método, segundo Heuvel et al. (2008):

- Alguns ramos do Mapa não terminam no hexágono (224). É o que ocorre com tópicos que fogem do controle da organização, como “sabotagem externa” ou “fenômeno natural”. Quando estes casos ocorrem, o que deve ser feito é identificar outros caminhos no Mapa que possam ser controlados pela organização.
- Quando a investigação leva ao ramo “Problema de Desempenho Pessoal: problema individual”, isso denota que o funcionário não trabalhou dedicadamente para obter o sucesso da sua atividade; esse ramo deve ser evitado ao máximo, até mesmo para que não se tenha o mal hábito de atribuir a causa dos problemas aos fatores humanos, ao invés de se tomar ações consistentes para resolvê-los.
- Um fator causal pode possuir mais de uma causa raiz.

### 3.5

#### Taproot®

Recentemente, o sistema Taproot (2013) foi desenvolvido para analisar causa raiz, entre outras finalidades. Ele consiste em um grupo de processos e técnicas para investigar, analisar e desenvolver ações corretivas para resolver problemas, passando por metodologia de análise de causa raiz específica. Tal metodologia engloba métodos dedutivos e indutivos para investigações sistêmicas a fim encontrar a causa raiz de problemas. Especificamente, o método Taproot®, para a etapa de análise de causa raiz terá apenas alguns aspectos abordados neste trabalho, não sendo apresentado a fundo, devido ao fato das fontes consultadas não possuírem textos acadêmicos o suficiente para o entendimento do método.

Bullemer e Laberge (2010) utilizaram em seu trabalho a metodologia TapRoot®. Como justificativa para a utilização, os autores mencionam a ampla utilização em empresas membros do consórcio ASM (Abnormal Situation Management®), assim como em indústrias no geral. Além disso, os autores escrevem que a metodologia vem apresentando forte credibilidade em ambas as esferas industriais e de pesquisa.

O método Taproot® também prevê que seja primeiramente sequenciado os eventos, definidos os fatores causais e aí sim, pode-se determinar a causa raiz de cada fator causal.

### Análise de causa raiz do fator causal

Para esta análise, o investigador deve começar na parte de cima do Taproot® Root Cause Tree®, que é uma árvore de causa raiz específica para o método. Assim, deve-se trabalhar ao longo da árvore em um processo de seleção e eliminação de possibilidades de causa raiz. A equipe investigadora deve perguntar e responder questões para identificar as causas raízes específicas para cada fator causal.

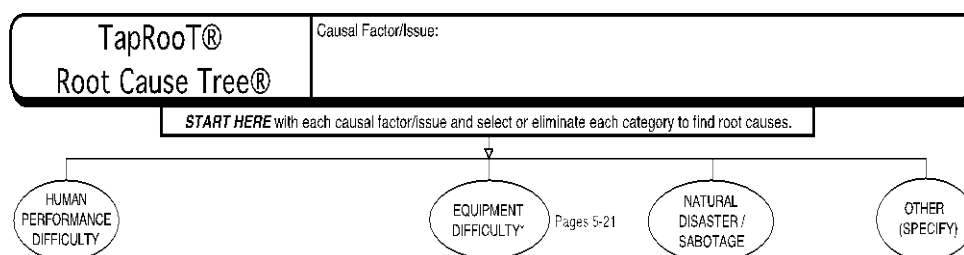


Figura 18: Exemplo de parte do Taproot® Root Cause Tree® (Taproot, 2013).

No exemplo citado acima, pode-se verificar que o modelo Taproot® Root Cause Tree® prevê 4 categorias diferentes para o fator causal a ser analisado: dificuldade de desempenho humano, dificuldade em equipamento, desastre natural/ sabotagem e outro.

A partir do ponto de partida que é o fator causal, deve-se verificar em qual categoria dentre as 4 ele se adequa. Uma vez que o investigador seleciona um tipo de categoria, por exemplo, dificuldade de desempenho humano, este é direcionado para um conjunto de 15 diferentes perguntas – chamadas de “guia de solução de problemas de erros humanos”. Um exemplo de pergunta (primeira pergunta) que consta como uma das 15 é: “a pessoa estava excessivamente fadigada, debilitada, chateada, entediada, distraída ou sobrecarregada?”. As respostas para as perguntas ajuda o investigador a identificar quais das 7 categorias de causas básicas relacionadas a desempenho humano devem ser investigadas mais adiante.

Neste caso, as 7 categorias são:

- Procedimentos
- Comunicações
- Orientação de trabalho
- Treinamento
- Sistema de gestão
- Controle de Qualidade
- Engenharia Humana

Uma vez que a categoria ou as categorias são selecionadas, é hora de se analisar as causas próximas e a causa raiz. Na Figura 19, está um exemplo da estrutura relacionando a categoria da causa, as causas próximas e a causa raiz.

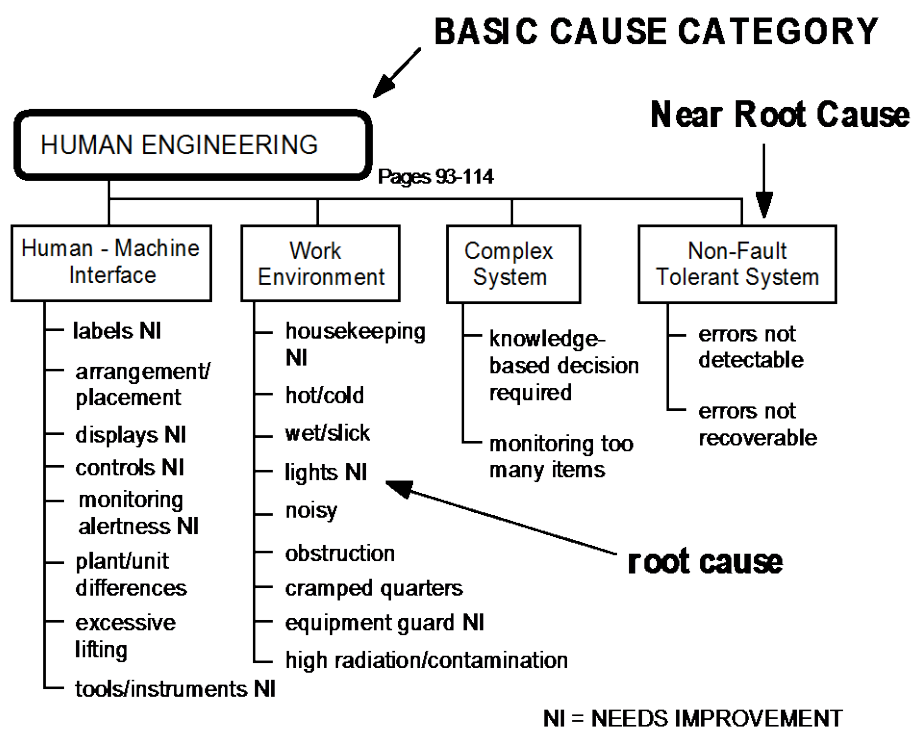


Figura 19: Exemplo de categoria de causa (Taproot, 2013).

Para cada categoria de causa diferente, devem ser analisadas as causas próximas e as causas raízes.

Em linhas gerais, o método assemelha-se ao método do Mapa de Causa Raiz™, devido a existência de um mapa e de categorias de fatores causais, porém não se pode afirmar total similaridade devido a algumas diferenças na nomenclatura.



## 4

### Exemplificação dos métodos ACR

A seguir será descrito um exemplo teórico, baseado no dia a dia de uma empresa da indústria metal mecânica, que será utilizado para exemplificar a aplicação dos métodos de ACR abordados no presente trabalho. Informações iniciais compõem a problemática aparente. Ao longo da apresentação sobre a utilização de cada método, mais informações serão incluídas para compor a resposta do problema, partindo-se do princípio que todos os métodos requerem um processo de investigação e coleta de evidências. A seguinte premissa é adotada para exemplificar os métodos: a equipe investigadora tem inicialmente somente as informações da problemática instalada, e para cada método, de acordo com a necessidade de informações e evidências, ela obtém mais informações.

#### 4.1

##### Problemática inicial

Numa empresa da indústria metal mecânica, certa vez, um funcionário do setor de montagem (montador) do produto final estava designado para encaixar uma barra arredondada em um furo localizado em um bloco metálico. Ao tentar realizar a montagem, percebeu que a barra entrava no furo com uma folga muito grande em seu diâmetro, contrariando o procedimento de montagem PM-01, que estabelece que a barra ao entrar no furo não deve apresentar folga, sendo o seu encaixe perfeito. A linha de produção foi parada. Imediatamente o montador chamou o seu supervisor para relatar o ocorrido e este contatou o técnico de controle da qualidade para relatar a situação. Um registro para esta não conformidade foi gerado. Essa parada na linha de produção gerou um alto custo para a empresa, porque atrasou a entrega do item final e, além disso, devem ser levados em conta os altos custos de retrabalho ou de sucateamento do material que a não conformidade gerou. Por estes motivos, este problema foi eleito pelo departamento de qualidade, para que fosse realizada uma análise de causa raiz. Uma equipe multidisciplinar foi formada composta por montador, supervisor,

técnico de controle da qualidade, engenheiro da qualidade e especialista em usinagem. As seguintes informações iniciais são disponibilizadas para a equipe:

- Diâmetro especificado para furo do bloco: 20mm. Encontrado através da verificação dimensional: 30mm.
- Diâmetro da barra estava conforme.
- Documento que especificava diâmetro do furo: ordem de produção OPR-01
- Registro dimensional da cota defeituosa com informações faltando.
- Máquina de usinagem utilizada (máquina furadeira): MQ-02
- Documento que orienta como utilizar a máquina MQ-02: IT-02.
- Documento com orientações gerais para o operador de máquina: IT-03
- Operador responsável pela OPR-01 na fase de realização do furo: OP-03
- Turno: 3<sup>o</sup>.
- Horário: 23:53
- Data: 13/10/12
- As tolerâncias para as cotas de usinagem estão sendo consideradas zero.

Nas Figuras 20a, 20b e 20c estão representadas, respectivamente, a montagem da barra com o bloco em suas vistas em perspectiva, superior para o caso de montagem conforme especificado no procedimento de montagem PM-01, e superior em que se observa a não conformidade relatada.

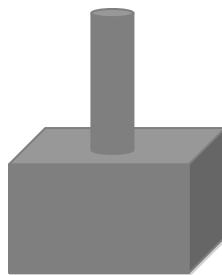


Figura 20a: Representação em perspectiva da montagem da barra com o bloco.  
(elaborado pela autora)

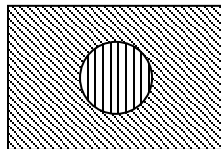


Figura 20b: Vista superior da montagem da barra com o bloco – montagem conforme especificado (elaborado pela autora)

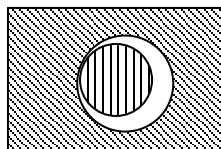


Figura 20c: Vista superior da montagem da barra com o bloco apresentando não conformidade – diâmetro do furo no bloco diferente do diâmetro da barra (elaborado pela autora)

A descrição da análise de causa raiz, utilizando cada um dos métodos, segue abaixo.

## 4.2

### ACR através do Método dos 5 por quês

Problema: Folga excessiva entre barra e furo do bloco, não possibilitando montagem.

1. Por que existe folga excessiva entre barra e furo do bloco, não possibilitando montagem?

Porque a dimensão do furo do bloco está acima do especificado.

Evidência: especificado furo com 20mm de diâmetro (fonte: OPR-01); obtido furo com 30mm de diâmetro (fonte: verificação dimensional realizada para a investigação). Relatório dimensional não apresentava as dimensões obtidas para o furo (informação faltando).

2. Por que a dimensão do furo do bloco está acima do especificado?

Porque o set up da máquina foi realizado de maneira incorreta, utilizando broca para furo de 30mm ao invés de broca para furo de 20mm.

Evidência: verificação dimensional do furo realizada para investigação e comparação do furo obtido com um furo utilizando uma broca de 30mm resultando em furos idênticos.

3. Por que o set up da máquina foi realizado de maneira incorreta, utilizando broca para furo de 30mm ao invés de broca para furo de 20mm?

Porque havia brocas para furo de 30mm misturadas com brocas para furos de 20mm, no recipiente das brocas para furo de 20mm.

Evidência: Na entrevista com o operador OP-03 foi relatado que a broca utilizada por ele foi retirada do recipiente de brocas para furo de 20mm.

4. Por que havia brocas para furo de 30mm misturadas com brocas para furo de 20mm, no recipiente das brocas para furo de 20mm?

Porque o pessoal do departamento de limpeza guardou a broca para furo de 30 mm no recipiente da broca para furo de 20mm.

Evidência: Na entrevista com o funcionário do setor da limpeza foi declarado que ele guardou as brocas que estavam na bancada da MQ-02, no intervalo entre o 2º e o 3º turno.

5. Por que o departamento de limpeza guardou uma broca para furo de 30mm no recipiente da broca para furo de 20mm?

Porque a IT-01, pertencente ao departamento de limpeza, descreve que tudo deve estar organizado.

Evidência: IT-01 – Instrução de trabalho do departamento de limpeza, revisada recentemente, determina que o setor de limpeza é responsável e deve executar a organização de todos os setores da empresa. Na entrevista com o responsável pelo setor de limpeza, este sugeriu que se deveria incluir a informação no procedimento sobre as áreas a serem organizadas pelo setor de limpeza, excluindo as áreas das máquinas.

Causa Raiz: Falta de informação na IT-01 sobre a exclusão das áreas das máquinas em relação a determinação da organização de toda a empresa pelo setor da limpeza.

Em resumo, a equipe investigadora a partir do problema realizou os cinco por quês até alcançar a causa raiz. Para cada uma das respostas (causas),

evidências foram levantadas conforme foi descrito acima, comprovando assim a veracidade das informações para o caso e esclarecendo a causa raiz do problema.

A técnica por quê - por quê não foi abordada no exemplo por não ser classificada como ferramenta de análise de causa raiz, conforme exposto anteriormente, no tópico 3.1.

### 4.3

#### ACR através do Diagrama de Ishikawa

A investigação da origem do problema através da utilização do diagrama de Ishikawa iniciou-se com um brainstorming, visando listar as possíveis causas para o problema, como pode ser visto na Figura 21.

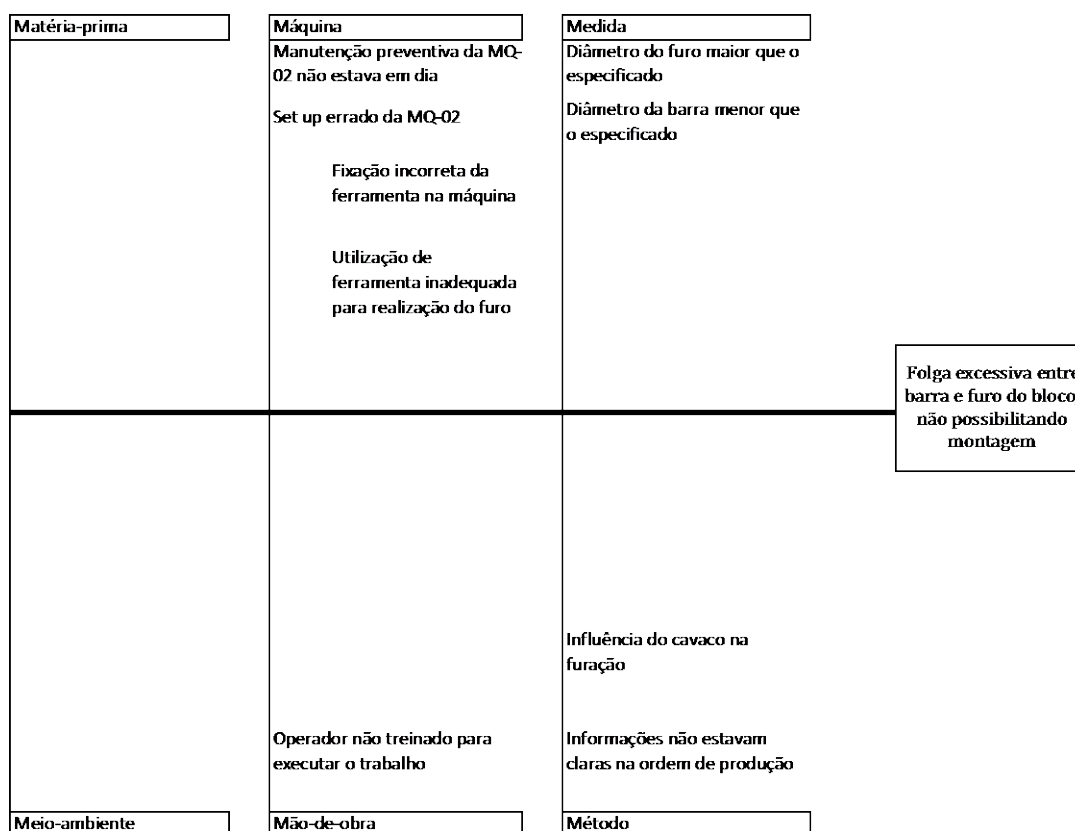


Figura 21: Diagrama de Ishikawa para o exemplo com todas as hipóteses de causa listadas (elaborado pelo autora)

Para cada uma das causas potenciais foi relacionada uma evidência, e em seguida as causas potenciais foram avaliadas, conforme a Tabela 14:.

Tabela 14: Causas potenciais e evidências (elaborado pela autora)

<b>Causa Potencial</b>	<b>Evidência</b>	<b>Causa descartada ou considerada?</b>
Manutenção preventiva da MQ-02 não estava em dia	Próxima manutenção preventiva deverá ocorrer apenas no mês de março de 2014. A manutenção preventiva está em dia.	Descartada
Set up errado da máquina: fixação incorreta da ferramenta na máquina	Operador realizou uma simulação da usinagem do furo semelhante ao que está especificado na OPR-01. O resultado foi avaliado pelo especialista de usinagem, que verificou que o operador fixou a ferramenta corretamente na máquina.	Descartada
Set up errado da máquina: utilização de ferramenta inadequada para realização do furo	Realizou-se um furo com a broca de 30mm para comparar com a dimensão do furo do bloco problemático. Os furos apresentam dimensões idênticas.	Considerada
Diâmetro do furo maior que o especificado	Especificado furo com 20mm de diâmetro (fonte: OPR-01); o bloco tem furo com 30mm de diâmetro (fonte: verificação dimensional realizada para a investigação). Relatório dimensional não apresentava as dimensões obtidas para o furo (informação faltando).	Considerada
Diâmetro da barra menor que o especificado	Verificação dimensional realizada mostrou que o diâmetro da barra está correto.	Descartada
Operador não treinado para executar o trabalho	Registros de treinamento do operador na IT-02 e IT-03 foram levantados.	Descartada
Influência do cavaco na furação	Especialista de usinagem descartou esta hipótese.	Descartada
Informações não estavam claras na ordem de produção	Um operador usou a OPR-01 para simular a realização de um furo similar em outro bloco e nenhuma não conformidade encontrada.	Descartada

Posteriormente um segundo Diagrama de Ishikawa foi montado como indicado na Figura 22, desta vez apenas com as causas que puderam ser validadas com evidências. Aquelas hipóteses de causa que não foram comprovadas através de evidências foram descartadas.

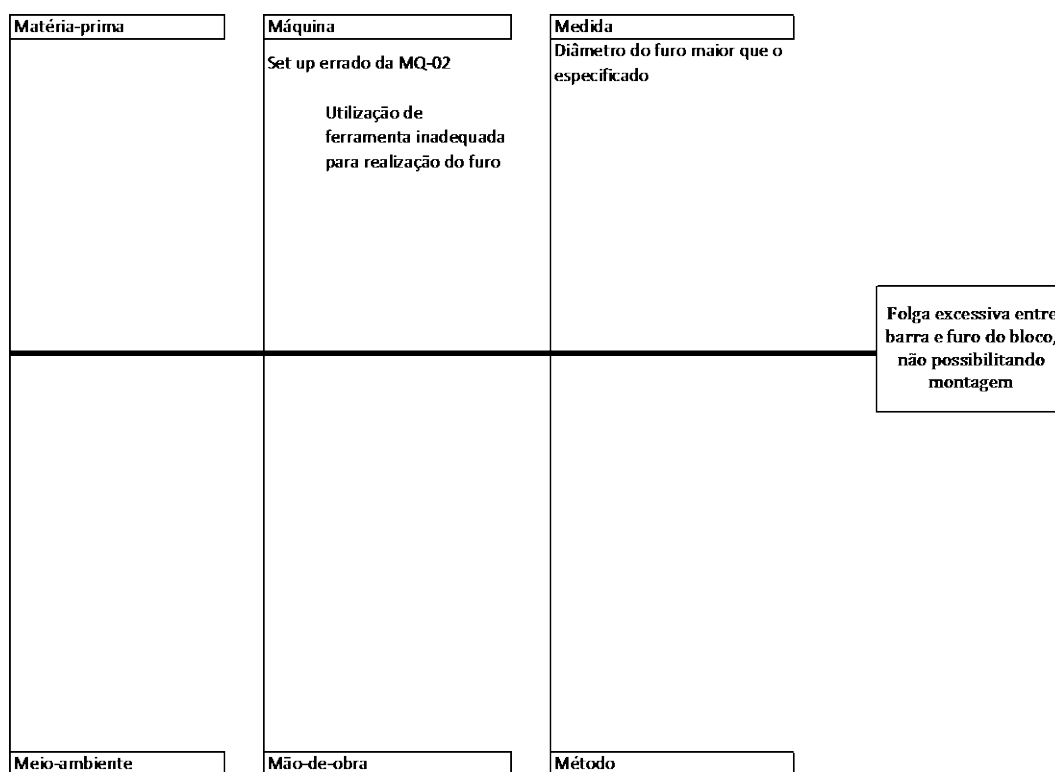


Figura 22: Diagrama de Ishikawa para o exemplo com causas comprovadas (elaborado pelo autora)

Ao relacionar apenas as causas comprovadas pelas evidências, conclui-se que a dimensão do furo que estava maior que o especificado porque o set up da máquina MQ-02 foi realizado de maneira incorreta – foi utilizada uma broca para furo de 30mm ao invés de uma broca para furo de 20mm. Logo, a causa raiz segue abaixo.

Causa Raiz: Utilização de ferramenta inadequada para a realização do furo (utilização de broca para furo de 30mm ao invés de broca para furo de 20mm).

#### 4.4

### ACR através das Ferramentas de Análise de Causa Raiz segundo Ammerman (1998)

#### 4.4.1

### ACR através da Análise de Barreira de Controle

Na aplicação desta metodologia ao exemplo, será apresentada a maneira de realizar a análise através do “método sozinho”, uma das maneiras possíveis de realizar a Análise de Barreira de Controle, conforme explicado no tópico 3.3.1 da dissertação. Já a maneira “método integrado” de realizar a Análise de Barreira será mostrada mais adiante, através do método Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE), uma vez que por definição o método integrado possui esse nome porque consiste na integração das Barreiras de Controle dentro do GFCE.

Tabela 15: Tabela de Análise de Barreiras para o exemplo (elaborado pela autora)

No.	Consequências	Barreiras que poderiam ter impedido o evento/problema	Avaliação da barreira (por que as barreiras falharam)
1	Utilização da broca incorreta	Verificação se a broca estava correta antes da utilização	Barreira inexistente. Não foi estabelecida instrução de trabalho para verificação da broca antes da execução do serviço.
2	Utilização da broca incorreta	Verificação periódica se as brocas que estão dentro dos recipientes correspondem aos tamanhos dos furos indicados nos recipientes.	Barreira inexistente. Nunca houve preocupação com este tópico.
3	Encaminhamento da peça defeituosa para o setor de montagem.	Relatório dimensional da peça	Barreira não efetiva. Embora o relatório exista, este não foi preenchido corretamente, apresentando campos em branco, inclusive o campo do dimensional da cota do furo.
4	Encaminhamento da peça defeituosa para o setor de montagem.	Registro de verificação dimensional após usinagem pelo próprio operador.	Barreira inexistente. Nunca houve preocupação com este tópico.



5	Armazenagem das brocas em recipientes incorretos pelo departamento da limpeza.	Instrução de trabalho que oriente os operadores a guardarem as ferramentas ao final de cada turno.	Barreira fraca. Existe uma orientação verbal, mas que não foi formalizada em nenhum documento da empresa.
6	Armazenagem das brocas em recipientes incorretos pelo departamento da limpeza.	<i>Checklist</i> de troca de turno, com tópico sobre verificação se todas as ferramentas utilizadas foram guardadas.	Barreira inexistente. Não existe o <i>checklist</i> .

Uma vez que as barreiras foram levantadas, agora, segundo Ammerman (1998), deve-se realizar o processo de Análise de Causa Raiz.

Para o caso do método Análise de Barreiras de Controle, apenas a barreira 5 foi escolhida como causa presumível, porque todas as demais barreiras são relacionadas a não detecção do problema e/ou pontos de inspeção do processo.

### Hipótese de Causas presumíveis

1. Omissão de informação relevante na IT-03 sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso, causou a armazenagem errada das brocas pelo setor de limpeza, que seguiu a ordem de organizar todo o ambiente, conforme descrito na IT-01 (Instrução de Trabalho do setor de Limpeza).

### Teste/ validação de causas presumíveis

- Causa presumível:

1<sup>a</sup>. Pergunta do teste:

Se eu consertar a causa presumível 1, estarei prevenindo a recorrência do problema?

Resposta: Sim, porque uma vez cientes que é obrigatório guardar ferramentas após utilizá-las, os operadores não deixarão ferramentas sobre as bancadas no final de seus turnos.

2ª. Pergunta do teste:

Se a causa presumível 1 é a causa raiz, como é explicada a situação problemática assim como as situações similares?

Resposta: Como os operadores das máquinas não tinham a determinação de guardar as ferramentas, formalizada e oficializada através da IT-03, estes não a seguiam. Assim, várias ferramentas além das brocas ficavam em cima das bancadas e suscetíveis de qualquer pessoa armazená-las em algum lugar indevido.

### **Separação de causas raízes das causas contribuintes**

- O problema não ocorreria se a causa não ocorresse?

Resposta: O problema não ocorreria se a causa não ocorresse.

- O problema não ocorreria novamente devido ao mesmo fator causal se a causa é corrigida ou eliminada?

Resposta: N/A. O fator causal nesse método não é definido.

- Correção ou eliminação da causa irá prevenir a recorrência de condições similares?

Resposta: Sim.

### **Verificação da causa raiz (processo de verificação externo)**

Esta etapa é realizada somente quando há dúvida sobre as causas raízes do problema. Para este exemplo considera-se que não há dúvidas sobre elas. Ademais, sendo uma análise externa, seria difícil reproduzir as condições externas necessárias do problema para concluí-la .

Causa raiz: omissão de informação relevante na IT-03 sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso.

#### 4.4.2

#### ACR através do Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE)

Aqui o GFCE é montado para o exemplo estudado. Como o gráfico está extenso, ele será dividido em 3 figuras (Figura 23a, 23b e 23c) começando da 1ª Parte, ponto de partida da ocorrência do problema, até chegar à última parte do gráfico.

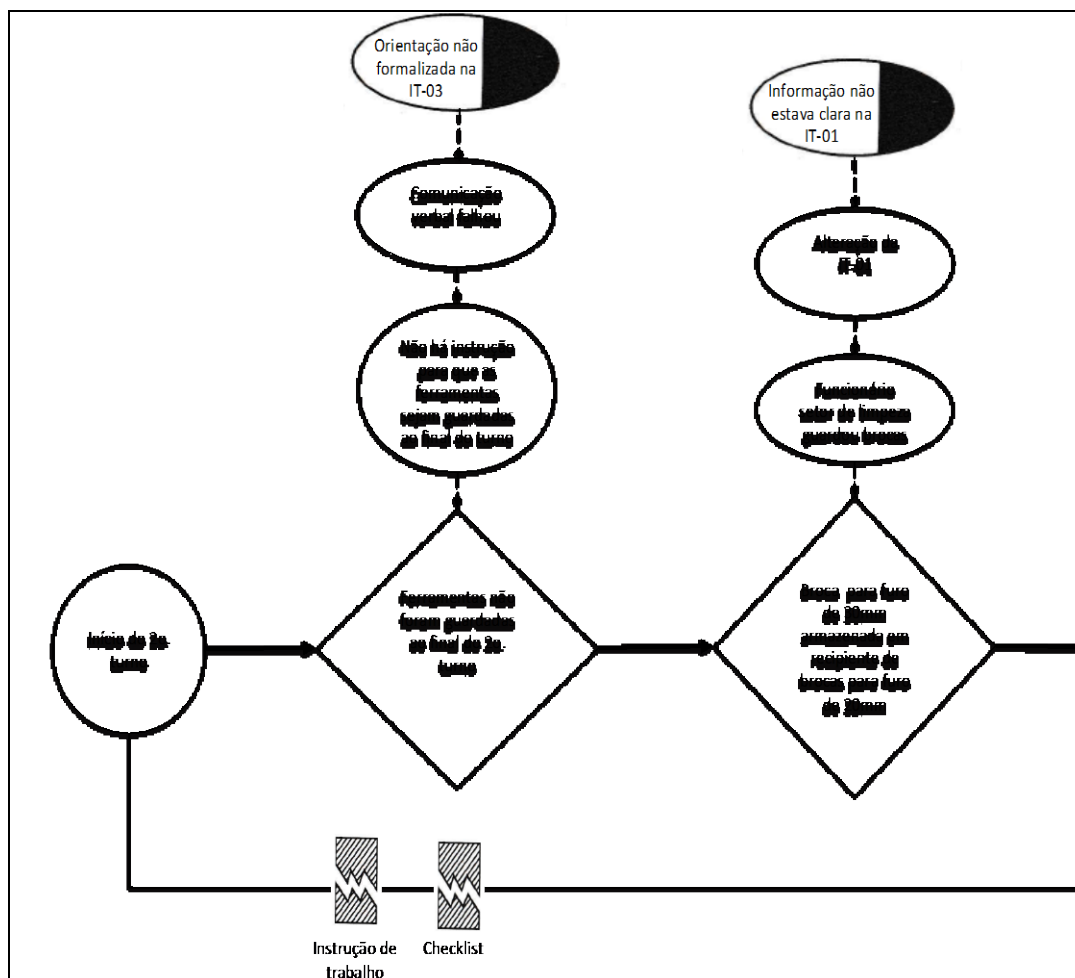


Figura 23a: 1ª. Parte do GFCE do exemplo (elaborado pela autora)

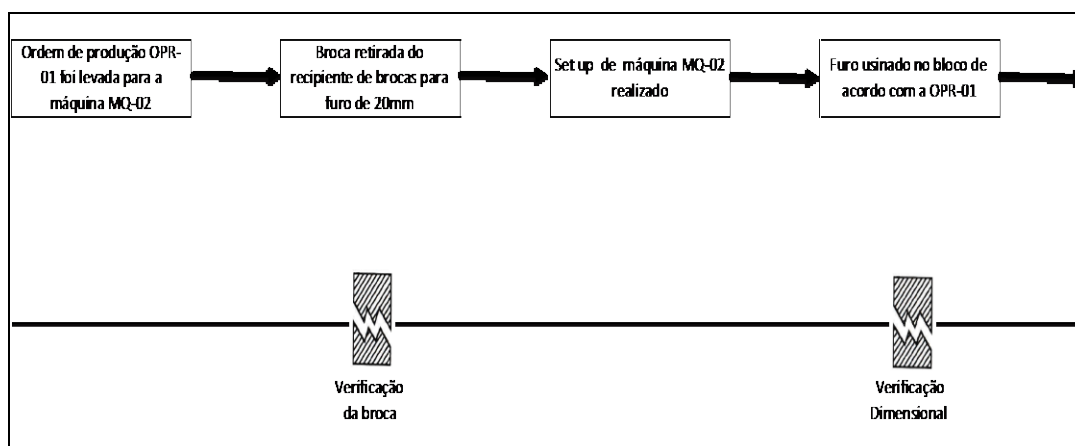


Figura 23b: 2ª. Parte do GFCE do exemplo (elaborado pela autora)

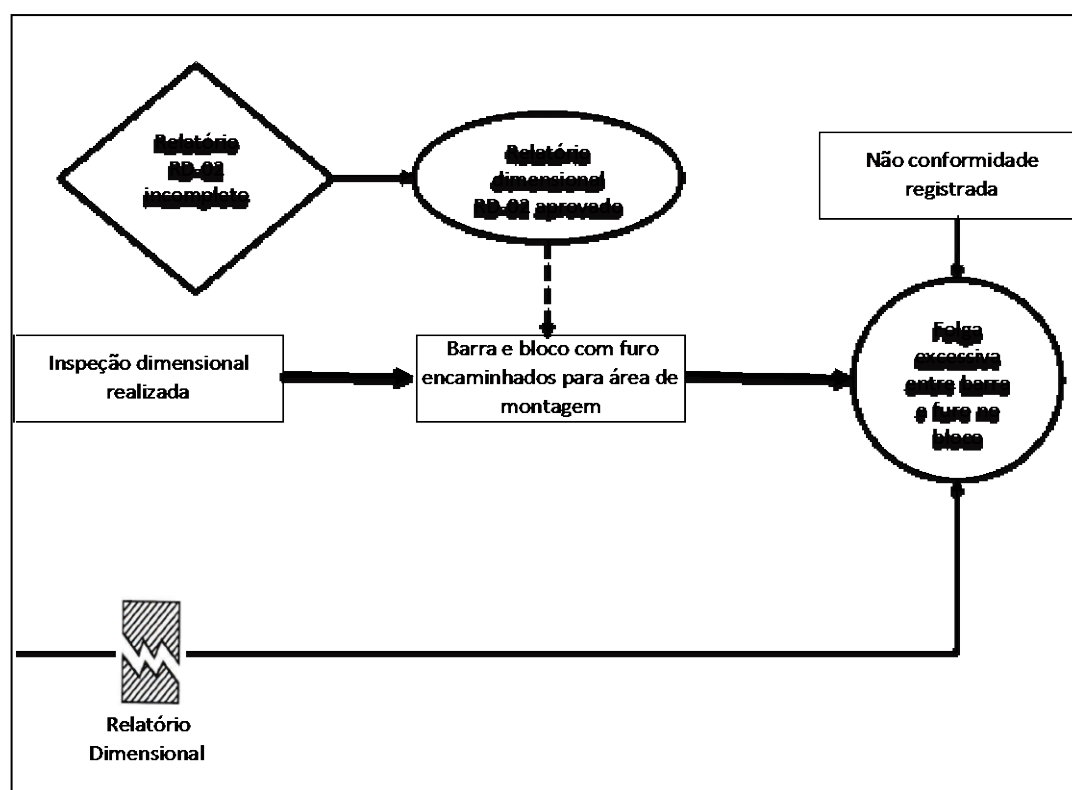


Figura 23c: 3ª. Parte do GFCE do exemplo (elaborado pela autora)

Todo o sequenciamento no tempo dos eventos que antecederam o problema foi mapeado e os fatos foram validados. É interessante notar também que no GFCE estão presentes as Barreiras de Controle; neste caso o Método Integrado da Análise de Barreiras de Controles foi utilizado, devido à integração presente das Barreiras com o GFCE.

Como mostrado na figura 23a, foram apontados dois fatores causais para o problema: orientação não-formalizada na IT-03 e informação superficial na IT-01.

Uma vez definidos os fatores causais que levaram o problema a ocorrer, pode-se consultar a Lista de Fatores Causais para verificar qual fator melhor se enquadraria com a causa raiz ou mesmo verificar a existência de outro fator causal que possa ser incluído ao GFCE. De acordo com o Anexo I, como os dois fatores causais estão relacionados às Instruções de trabalho que não foram definidas claramente, a Categoria de Fator Causal para este caso seria “Problemas de desempenho humano”, Fator Causal “Documentos e procedimentos escritos”. Assim, para o Fator Causal "Documentos e Procedimentos Escritos", foi escolhido como modificador a opção “Modificador – função instrução”, subitem “operação normal”. A causa raiz, associado ao fator causal é “Omissão de informação relevante”.

O processo de determinação da causa raiz para o exemplo em questão é detalhado a seguir.

### **Hipóteses de causas presumíveis**

1. A omissão de informação relevante na IT-01, para que não fosse organizada a área das máquinas pelo setor de limpeza, causou a armazenagem errada da broca pelo funcionário do setor de limpeza, que seguiu a ordem de organizar todo o ambiente, conforme descrito na IT-01.
2. A omissão de informação relevante na IT-03, sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso, causou a armazenagem errada da broca pelo funcionário do setor de limpeza, que seguiu a ordem de organizar todo o ambiente, conforme descrito na IT-01.

### **Teste/ validação de causas presumíveis**

- Causa presumível 1:
  - 1<sup>a</sup>. Pergunta do teste:
 

Se eu consertar a causa presumível 1, estarei prevenindo a recorrência do problema?

Resposta: Sim, porque uma vez cientes que não é necessária a organização nas áreas das máquinas, os funcionários do setor de limpeza não a realizarão.

2ª. Pergunta do teste:

Se a causa presumível 1 é a causa raiz, como é explicada a situação problemática assim como as situações similares?

Resposta: Como a IT-01 não comunicava que a área de máquinas seria excluída da regra de organização de toda a empresa pelo setor de limpeza, os operadores guardavam não só as brocas, mas todas as ferramentas deixadas pelos operadores entre os turnos sobre as bancadas de máquinas.

- Causa presumível 2:

1ª. Pergunta do teste:

Se eu consertar a causa presumível 2, estarei prevenindo a recorrência do problema?

Resposta: Sim, porque uma vez cientes que é obrigatório guardar ferramentas após utilizá-las, estas não ficarão mais sobre as bancadas.

2ª. Pergunta do teste:

Se a causa presumível 2 é a causa raiz, como é explicada a situação problemática assim como as situações similares?

Resposta: Como os operadores das máquinas não tinham essa determinação de guardar as ferramentas, oficializada através da IT-03, estes não a seguiam. Assim, várias ferramentas além das brocas ficavam sobre as bancadas e suscetíveis de qualquer pessoa da limpeza armazená-las em lugares indevidos.

Separação de causas raízes das causas contribuintes:

Causa presumível 1:

- O problema não ocorreria se a causa 1 não ocorresse?

Resposta: O problema não ocorreria se a causa não ocorresse.

- O problema não ocorreria novamente devido ao mesmo fator causal se a causa é corrigida ou eliminada?

Resposta: O problema não ocorreria.

- Correção ou eliminação da causa irá prevenir a recorrência de condições similares?

Resposta: Sim.

Causa presumível 2:

- O problema não ocorreria se a causa 2 não ocorresse?

Resposta: O problema não ocorreria se a causa não ocorresse.

- O problema não ocorreria novamente devido ao mesmo fator causal se a causa é corrigida ou eliminada?

Resposta: O problema não ocorreria.

- Correção ou eliminação da causa irá prevenir a recorrência de condições similares?

Resposta: Sim.

### **Verificação das causas raízes (processo de verificação externo)**

Como é difícil reproduzir as mesmas condições externas do exemplo estudado, necessárias para a análise externa, considera-se que não há dúvida sobre as hipóteses das causas raízes do problema.

### **Causas Raízes**

- Omissão de informação relevante na IT-01 para que não fosse organizada a área das máquinas pelo setor de limpeza.
- Omissão de informação relevante na IT-03 sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso.

Vale lembrar que, como Ammerman (1998) não aborda claramente a ordem de utilização da Lista de Fatores Causais e do processo de determinar a causa raiz, foi considerado para o exemplo estudado, primeiro, realizar a análise

pela Lista de Fatores Causais e em seguida realizar o processo de determinação da causa raiz.

#### 4.4.3

#### ACR através da Análise de Árvore de Falha (AAF)

A Figura 24a mostra a aplicação da AAF no exemplo; neste caso foram levantadas hipóteses iniciais para as causas do evento de topo e assim foram gerados os ramos.

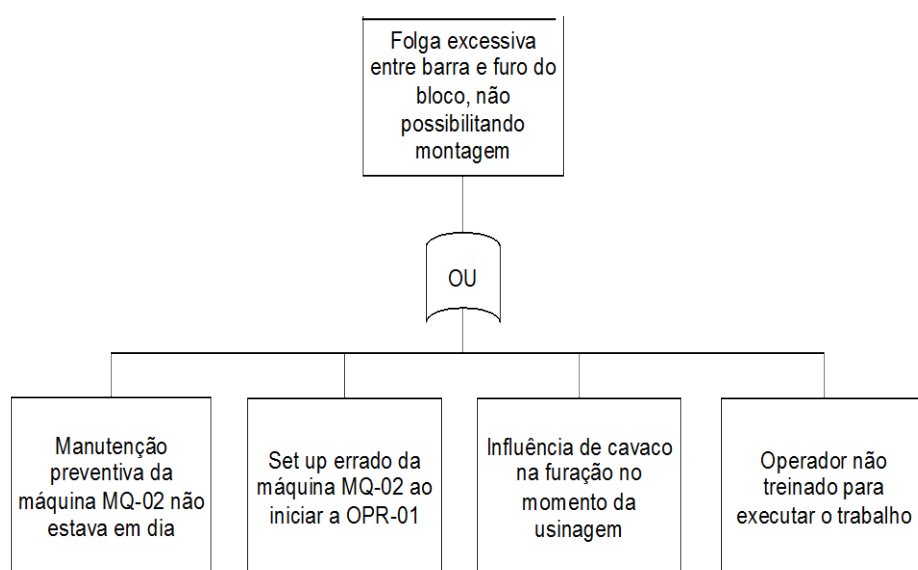


Figura 24a: AAF inicialmente gerada para o exemplo (elaborado pela autora)

Ao se analisar as evidências de cada ramo da AAF inicialmente gerada, constata-se que alguns ramos podem ser cortados, pois não se pode provar que a causa do evento do topo foi provocada por esses ramos. A nova AAF pode ser vista na Figura 24b. Cortar os ramos que não explicam o problema no início de cada análise é uma boa prática, uma vez que não é preciso investir tempo para continuar em um ramo que não explicará por que o evento ocorreu.



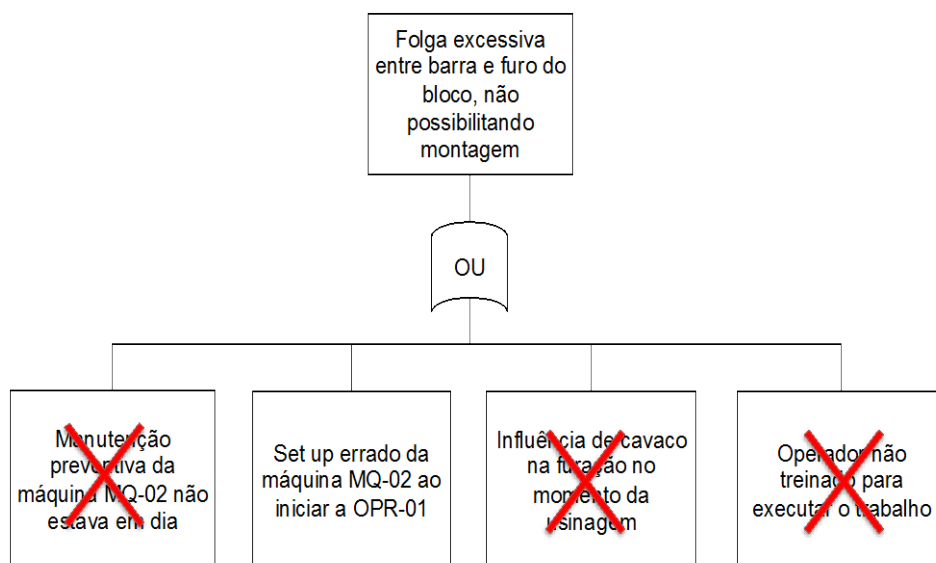


Figura 24b: AAF para o exemplo após ramos cortados (elaborado pela autora)

A investigação segue a partir do ramo da AAF não cortado e na Figura 24c pode se ver a análise concluída. Todo efeito ou causa que não se pode comprovar através de evidências é cortado com um "X" na AAF. Assim, os ramos da árvore que restaram estão associados a eventos que foram suficientes para causar/explicar o evento de topo.

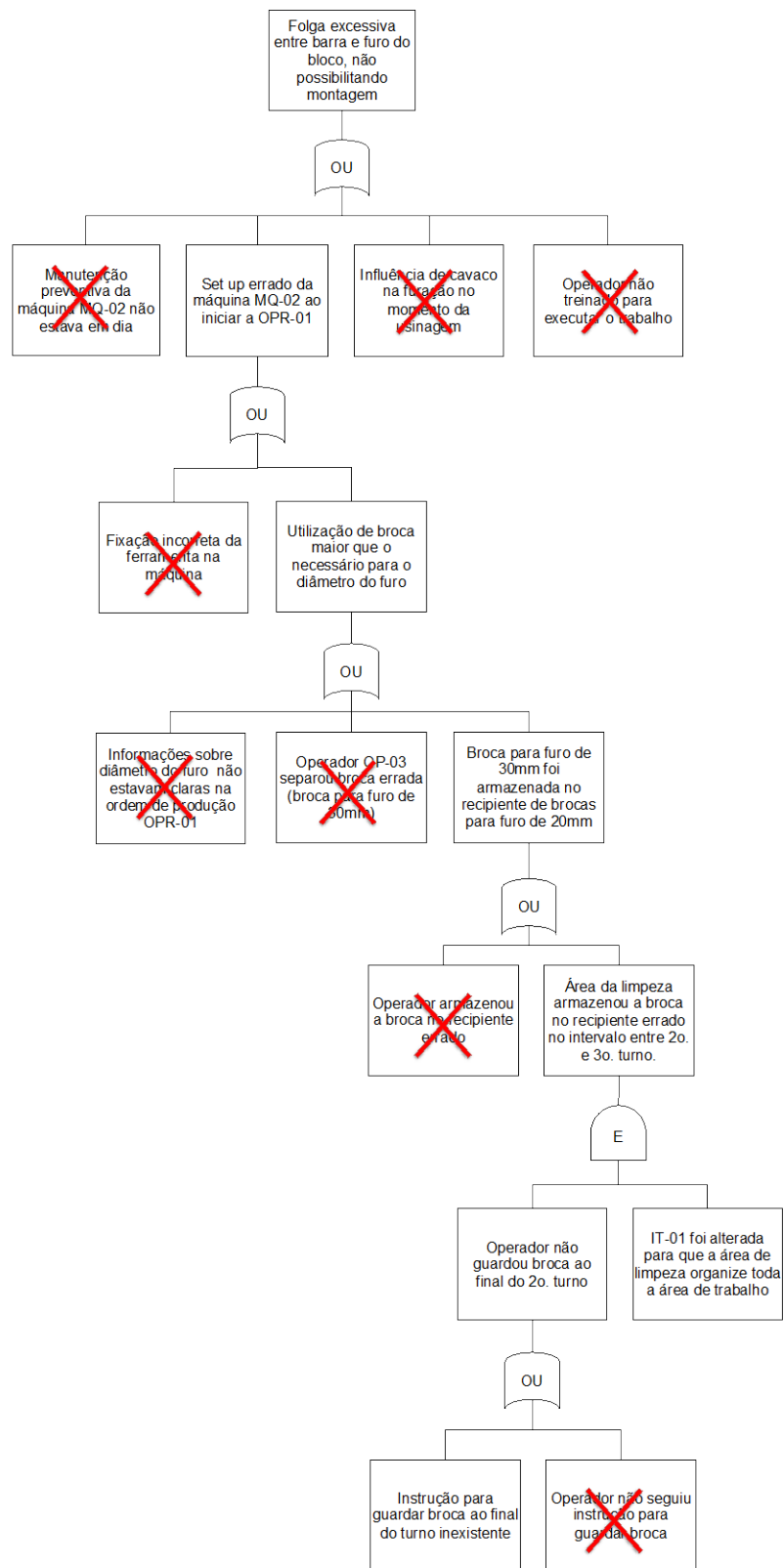


Figura 24c: AAF completa para o exemplo (elaborado pela autora)

Na Tabela 16 são apresentadas as evidências para cada modo de falha que levou à causa raiz do problema:

Tabela 16: Evidências dos modos de falha da AAF (elaborado pela autora)

Modo de Falha	Evidência
Set up errado da máquina MQ-02 ao iniciar a OPR-01	Realizou-se um furo com a broca de 30mm para comparar com a dimensão do furo do bloco problemático. Os furos apresentam dimensões idênticas. Assim, o set up foi realizado utilizando uma broca errada.
Utilização de broca maior que o necessário para o diâmetro do furo	Especificado furo com 20mm de diâmetro (fonte: OPR-01); o bloco tem furo com 30mm de diâmetro (fonte: verificação dimensional realizada para a investigação).
Broca para furo de 30mm foi armazenada no recipiente de brocas para furo de 20mm	Na entrevista com o operador OP-03 foi relatado que a broca utilizada por ele foi retirada do recipiente de brocas para furo de 20mm.
Área de Limpeza armazenou a broca no recipiente errado no intervalo entre 2º e 3º turno	Na entrevista com o funcionário do setor da limpeza foi declarado que ele guardou as brocas que estavam na bancada da MQ-02, no intervalo entre o 2º e o 3º turno.
Operador não guardou a broca ao final do 2º turno	Na entrevista com o OP-03 ele informou não ter guardado a broca ao final do 2º turno.
IT-01 foi alterada para que a área de limpeza organize toda a área de trabalho	IT-01 – Instrução de trabalho do departamento de limpeza, revisada recentemente, determina que o setor de limpeza é responsável e deve executar a organização de todos os setores da empresa
Instrução para guardar a broca ao final do turno inexistente	Na entrevista com o OP-03 ele informou não existir Instrução de Trabalho formalizada para que ferramentas sejam guardadas pelos operadores ao final dos turnos. Isso foi comprovado quando se checkou os documentos da empresa.

Para os ramos que foram cortados, não é necessário apresentar as evidências segundo o método.

## Processo de Análise da Causa Raiz

Com os eventos associados às falhas básicas existentes, é possível iniciar a etapa de determinação da causa raiz.

### Hipóteses de causas presumíveis

1. Omissão de informação relevante na IT-01, para que não fosse organizada a área das máquinas pelo setor de limpeza, causou a armazenagem errada da broca pelo funcionário do setor de limpeza, que seguiu a ordem de organizar todo o ambiente, conforme descrito na IT-01.
2. Omissão de informação relevante na IT-03, sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso, causou a armazenagem errada da broca pelo funcionário do setor de limpeza, que seguiu a ordem de organizar todo o ambiente, conforme descrito na IT-01.

### Teste/ validação de causas presumíveis

- Causa presumível 1:

1ª. Pergunta do teste:

Se eu consertar a causa presumível 1, estarei prevenindo a recorrência do problema?

Resposta: Sim, porque uma vez cientes que não é necessária a organização nas áreas das máquinas, os funcionários do setor de limpeza não a realizarão.

2ª. Pergunta do teste:

Se a causa presumível 1 é a causa raiz, como é explicada a situação problemática assim como as situações similares?

Resposta: Como a IT-01 não comunicava que a área de máquinas seria excluída da regra de organização de toda a empresa pelo setor de limpeza, o setor da Limpeza guardava não só as brocas, mas todas as ferramentas deixadas pelos operadores entre os turnos sobre as bancadas de máquinas.

Causa presumível 2:

1ª. Pergunta do teste:

Se eu consertar a causa presumível 2, estarei prevenindo a recorrência do problema?

Resposta: Sim, porque uma vez que os operadores das máquinas estão cientes que é obrigatório guardar as ferramentas após o uso, estas não ficarão mais sobre as bancadas.

2ª. Pergunta do teste:

Se a causa presumível 2 é a causa raiz, como é explicada a situação problemática assim como as situações similares?

Resposta: Como os operadores das máquinas não tinham essa determinação de guardar as ferramentas, oficializada através da IT-03, estes não a seguiam. Assim, várias ferramentas além das brocas ficavam em cima das bancadas e suscetíveis de qualquer pessoa armazená-las em algum lugar indevido.

## **Separação de causas raízes das causas contribuintes**

Causa presumível 1:

- O problema não ocorreria se a causa 1 não ocorresse?

Resposta: O problema não ocorreria se a causa não ocorresse.

- O problema não ocorreria novamente devido ao mesmo fator causal se a causa é corrigida ou eliminada?

Resposta: O problema não ocorreria.

- Correção ou eliminação da causa irá prevenir a recorrência de condições similares?

Resposta: Sim.

Causa presumível 2:

- O problema não ocorreria se a causa 2 não ocorresse?

Resposta: O problema não ocorreria se a causa não ocorresse.

- O problema não ocorreria novamente devido ao mesmo fator causal se a causa é corrigida ou eliminada?

Resposta: O problema não ocorreria.

- Correção ou eliminação da causa irá prevenir a recorrência de condições similares?

Resposta: Sim.

### **Verificação das causas raízes (processo de verificação externo)**

Como é difícil reproduzir as mesmas condições externas do exemplo estudado, necessárias para a análise externa, considera-se que não há dúvida sobre as hipóteses das causas raízes do problema.

Causas Raízes:

- Omissão de informação relevante na IT-01 para que não fosse organizada a área das máquinas pelo setor de limpeza.
- Omissão de informação relevante na IT-03 sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso.

## **4.5**

### **ACR através do Mapa de Causa Raiz™**

Esta análise inicia-se com os fatores causais do problema. Heuvel (2008) propõe três ferramentas de análises de dados para obter os fatores causais (AAF, Linhas de Tempo e Gráfico de Fator Causal), de acordo com o que foi apresentado no tópico 3.4 da presente dissertação. Como o foco do presente trabalho é aprofundar o estudo nos métodos de análise de causa raiz e não em outras ferramentas, aqui será utilizada a AAF já apresentada anteriormente de forma simplificada. No método de Mapa de Causa Raiz a AAF é usada como ferramenta auxiliar para identificar os fatores causais, e em seguida definir a causa raiz do problema. A representação da AAF para utilização conjunta com o Mapa pode ser visualizada através da Figura 25.

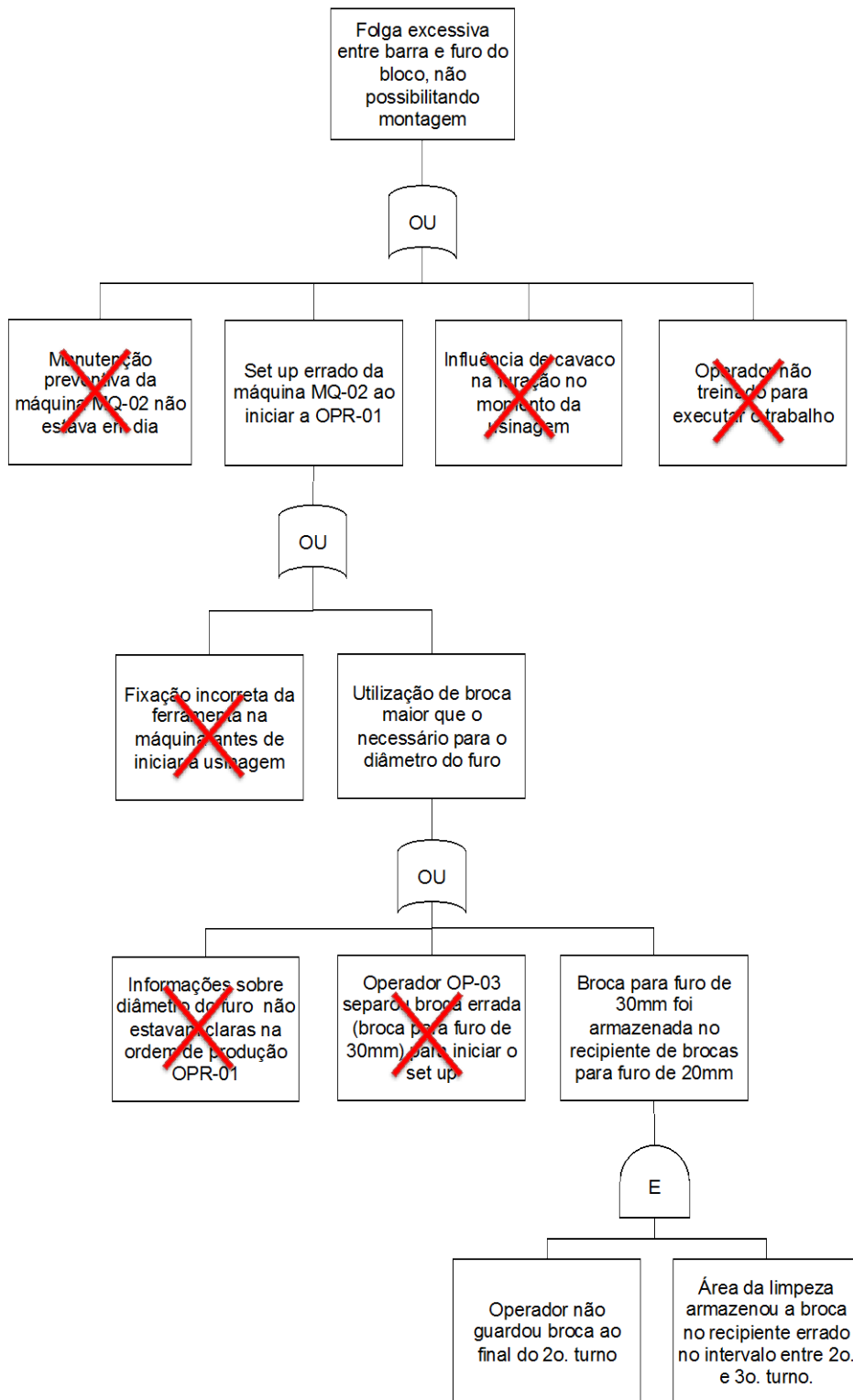


Figura 25: AAF para o exemplo apontando fatores causais (elaborado pela autora)

Fatores causais selecionados:

1. Operador não guardou broca ao final do 2o. turno.
2. Área da limpeza armazenou a broca no recipiente errado no intervalo entre 2o. e 3o. turno.

Brainstorming sobre causas raízes prováveis e relevantes (baseada nas evidências obtidas ao longo da investigação).

- Causas raízes prováveis relacionadas ao fator causal 1:
  - Informação sobre a obrigatoriedade de guardar a broca não é formalizada e assim não foi passada para o operador de máquinas.
- Causas raízes prováveis relacionadas ao fator causal 2:
  - Instrução de trabalho IT-01 do setor de limpeza não considerou a área das máquinas como uma exceção para a regra de organização de todos os ambientes de trabalho.

A trajetória indicada para ambos os fatores causais foi a mesma, levando à mesma causa raiz. Na Tabela 17, pode-se visualizar a trajetória definida, na primeira coluna, o que cada número representa na segunda coluna, e na terceira, a descrição de cada elemento da trajetória:



Tabela 17: Detalhamento da trajetória desde o fator causal até a causa raiz (elaborado pela autora)

Trajetória	Elemento	Descrição do elemento para a investigação
3	Tipo de fator causal	Problema relacionado a pessoal
12	Categoria de problema	Problema relacionado a funcionário da organização
122	Categoria de causa raiz maior	Problema relacionado a procedimento
140	Causa raiz próxima	Procedimento apropriado incorreto/incompleto
144	Causa intermediária	Faltam etapas/ Conteúdo/ Situação não coberta
225	Tipo de causa raiz	Problema relacionado a Padrões da Empresa/ Políticas e Controles Administrativos
226	Causa raiz	Falta de padrões, políticas ou controles administrativos ou assunto não endereçado através de padrões, políticas ou controles administrativos

Em resumo, para cada fator causal a trajetória até a causa raiz do problema pode ser vista na Tabela 18.

Tabela 18: Trajetória desde o fator causal até a causa raiz (elaborado pela autora)

Fator Causal	Trajetória percorrida no Mapa de Causa Raiz™
Operador não guardou broca ao final do 2o. turno.	3-12-122-140-144-226
Área da limpeza armazenou a broca no recipiente errado no intervalo entre 2o. e 3o. turno.	3-12-122-140-144-226

A parte das recomendações não foi abordada no exemplo porque não é o foco de estudo (foco específico para estudo da causa raiz).

Na Figura 25 a trajetória é apresentada graficamente; o círculo vermelho assinala a causa raiz do problema.

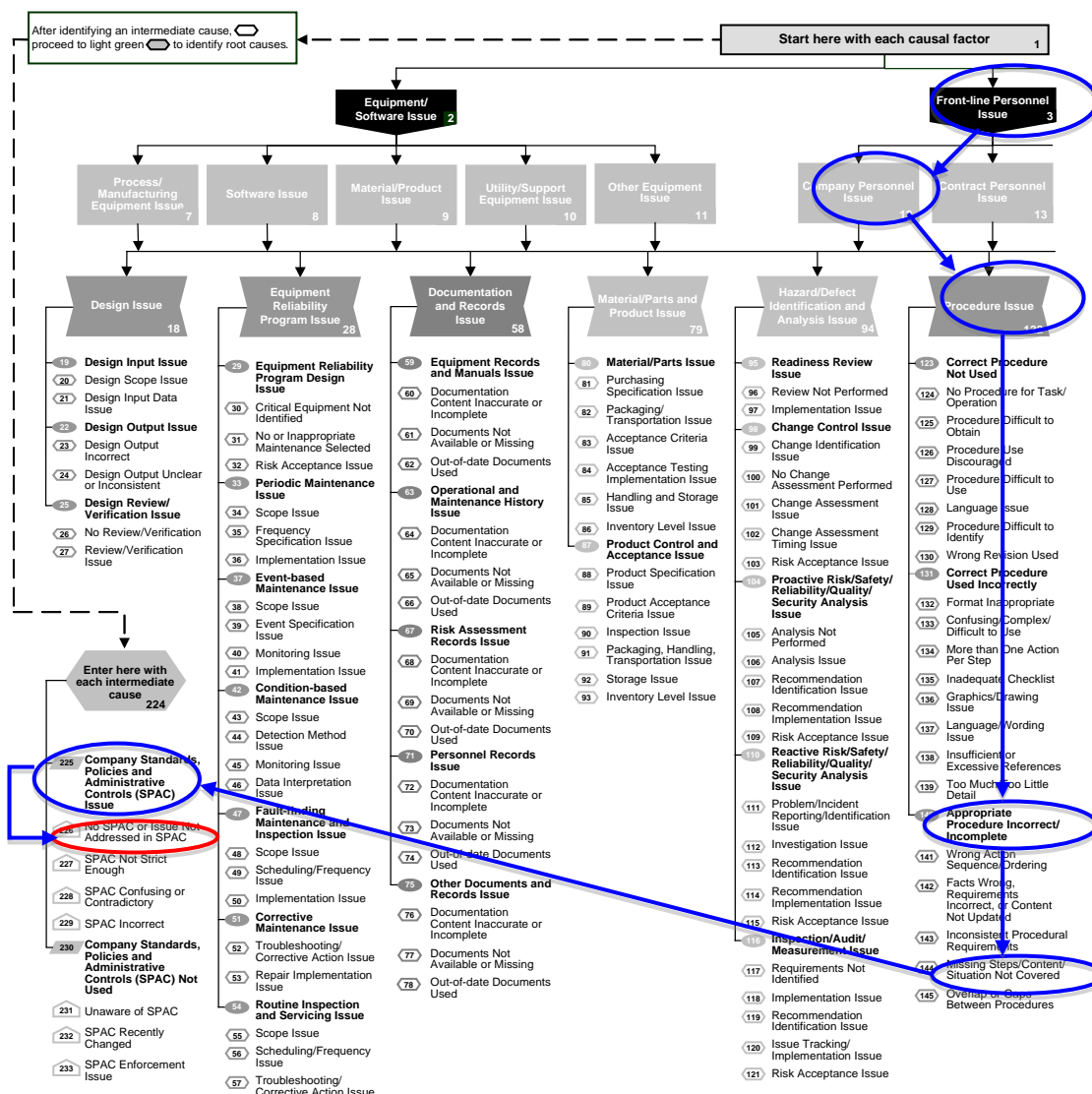


Figura 26: Visualização da trajetória desde o fator causal até a causa raiz (elaborado pela autora)

Assim, através deste método uma trajetória para o problema foi montada e ao final dela a causa raiz foi definida.

## Causa Raiz para ambos os fatores causais

Falta de padrões, políticas ou controles administrativos ou assunto não endereçado através de padrões, políticas ou controles administrativos (Nó 226, de acordo com o Mapa de Causa Raiz™).

## Discussão sobre os resultados

Cada método aplicado ao exemplo teve como resultado uma ou mais causas raízes para o problema definido no exemplo, conforme pode ser observado na Tabela 19.

Tabela 19: Identificação da causa raiz por cada método ACR para o exemplo estudado (elaborado pela autora)

Método	Causa raiz do exemplo
5 Por quês	Falta de informação na IT-01 sobre a exclusão das áreas das máquinas em relação a determinação da organização de toda a empresa pelo setor da limpeza.
Ishikawa	Utilização de ferramenta inadequada para a realização do furo (utilização da broca para furo de 30mm ao invés da broca para furo de 20mm).
Barreiras de Controle	Omissão de informação relevante na IT-03 sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso.
GFCE	Causa raiz 1: Omissão de informação relevante na IT-01 para que não fosse organizada a área das máquinas pelo setor de limpeza. Causa raiz 2: Omissão de informação relevante na IT-03 sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso.
AAF	Causa raiz 1: Omissão de informação relevante na IT-01 para que não fosse organizada a área das máquinas pelo setor de limpeza. Causa raiz 2: Omissão de informação relevante na IT-03 sobre a obrigatoriedade dos operadores de máquina guardar as ferramentas após o uso.
Mapa de Causa Raiz™	Falta de padrões, políticas ou controles administrativos ou assunto não endereçado através de padrões, políticas ou controles administrativos.

Analisando as causas raízes do problema apresentado no exemplo, observa-se primeiramente que se trata de um problema complexo. As causas raízes em sua maioria apontaram que o uso da broca errada na ferramenta de usinagem do furo não se limitou a um simples erro de operação, mas sim a um erro na dinâmica de trabalho no setor de montagem e no setor de limpeza. Sem se limitar ao óbvio, os métodos proporcionaram aos investigadores manter uma linha

de investigação livre de preconceitos e amarras, através de entrevistas com funcionários, favorecendo a percepção da dinâmica de trabalho do setor de limpeza, assim como a observação sobre a dinâmica dos operadores das máquinas.

Em segundo lugar, observa-se que as causas raízes em sua maioria não coincidiram, entretanto, não foram totalmente discrepantes, variando apenas o grau de aprofundamento associado à raiz do problema.

O método Mapa de Causa Raiz foi o que trouxe uma visão mais sistêmica sobre a raiz do problema. Ele não só abordou a questão da falta das instruções de trabalho para esse exemplo, como considerou essa deficiência em nível sistêmico.

O GFCE também pode trazer essa abordagem, se a resposta final para a causa raiz for associada a lista de fator causal; porém ainda assim, nem todas as causas raízes contidas na Lista de Fatores Causais baseiam-se em níveis sistêmicos de procedimentos e normas – que geralmente envolvem mudanças de processos, normas e gestão da organização.

Os métodos AAF e GFCE apresentaram causas raízes similares, porque ao final da investigação resultaram nas mesmas conclusões. O ponto forte destes dois métodos foi a capacidade de capturar tanto o problema da falta de instrução de trabalho para o setor da limpeza, quanto o problema da falta de instrução de trabalho para os operadores das máquinas. AAF mostrou ainda a multicausalidade do problema do exemplo, apontado para o fato de que o problema ocorreria apenas se as duas causas ocorressem simultaneamente, um diferencial presente neste método.

Os métodos Análise dos 5 por quês e Barreiras de Controle tiveram como característica em comum apresentarem uma das causas raízes apontadas pelos métodos GFCE e AAF. Isso mostra que esses métodos quando aplicados no exemplo estudado foram efetivos até certo ponto, uma vez que ao elucidar apenas uma das causas raízes deixa a organização com um problema proeminente. Por isso, o método de Barreiras de Controle, segundo Ammerman (1998), é indicado para ser utilizado em conjunto com outros métodos; é previsível que para alguns problemas ele não traga a elucidação completa sobre a causa raiz do problema, como ocorreu neste exemplo. Além disso, o Método dos 5 por quês apresenta-se de uma maneira conservadora, devido a ser um método mais rígido, mais difícil de ser modificado.

Observa-se que o Diagrama de Ishikawa indicou uma causa raiz em um nível não tão profundo de análise, dando a possibilidade dos procedimentos dos operadores de máquinas e funcionários da limpeza continuarem errados, não corrigindo de uma forma definitiva o problema. A causa está relacionada ao problema, mas não suficientemente para ser caracterizada como causa raiz.

Outro fato interessante que se pode observar é que os métodos AAF, GFCE e Mapa de Causa Raiz<sup>TM</sup> apresentaram claramente e com completude as causas raízes associadas ao problema do exemplo estudado.

## 6

### Comparação dos métodos de análise de causa raiz

#### 6.1

##### Método dos 5 por quês

##### 6.1.1

###### Vantagens

- Simplicidade de execução, uma vez que basta apenas seguir uma sequência de por quês para se chegar a causa raiz do problema.
- Ferramenta objetiva por seguir um caminho único para a sequência de causas

##### 6.1.2

###### Desvantagens

- Sequenciamento lógico dos por quês pode ser difícil, caso as relações de causa e efeito não estejam muito claras.
- Equipe de investigação deve ter cautela para que os por quês sejam respondidos via as relações de causa e efeito, caso contrário a análise pode ficar sem sentido ou gerar loops.
- Caso o problema seja multicausal, fica confuso definir mais de uma causa raiz a partir da resposta do último por quê.
- Equipe de investigação com experiência pode induzir o caminho dos porquês se a causa raiz já tiver sido pensada inicialmente.

## 6.2

### Diagrama de Ishikawa

#### 6.2.1

##### Vantagens

- Liberdade aos participantes de utilizar o *brainstorming* para a fase inicial da análise, uma vez que a própria constituição do Diagrama estimula esta construção.
- Possibilidade de se levantar outros pontos relacionados ao problema que talvez não tenham uma contribuição direta, porém devem ser revistos—uma causa raiz potencial pode não ser a causa raiz para o problema que está sendo analisado, mas pode estar gerando outro problema.

#### 6.2.2

##### Desvantagens

- Falta de noção causa-e-efeito entre as causas potenciais dos diferentes ramos, dificultando a análise da causa raiz.

## 6.3

### Análise de Barreira de Controle

#### 6.3.1

##### Vantagens

- Geração de várias ações para que causas presumíveis, contribuintes e raiz não voltem a ocorrer.
- Boa ferramenta para listar todos os pontos de verificação/intervenção que evitariam o problema (pontos de intervenção ou controle).

### 6.3.2

#### Desvantagens

- A ferramenta não necessariamente determina a causa raiz do problema, por se basear na busca e análise das barreiras e não das causas.

### 6.4

#### Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE)

##### 6.4.1

#### Vantagens

- Verifica-se a sequência de acontecimento dos fatos no tempo, gerando um tipo de reconstituição dos eventos que encadearam a ocorrência do problema.
- Organização dos dados envolvidos na análise através do gráfico.
- Apresenta a situação do problema como um todo, de forma gráfica.

##### 6.4.2

#### Desvantagens

- Maior duração da investigação por exigir um mapeamento detalhado do problema.

### 6.5

#### Análise de Árvore de Falha (AAF)

##### 6.5.1

#### Vantagens

- Ferramenta que mostra falha devido a eventos múltiplos e suas relações entre causas múltiplas;



- Sua utilização é apropriada em problemas técnicos e de máquinas, por ser um método lógico, baseado em conectores e relações de causa e efeito.

### 6.5.2

#### Desvantagens

- Não mostra a sequência de eventos no tempo
- Menos indicado para investigar problemas relacionados a segurança, meio-ambiente, desempenho humano, porque esses problemas em geral possuem maior relação com sequenciamento no tempo. (Heuvel et al., 1998)

## 6.6

### Mapa de Causa Raiz™

#### 6.6.1

##### Vantagens

- Sequência de classificações, desde fatores causais até causa raiz a ser elaborada dentro de uma lista pré-definida, o que auxilia em base de dados de estratificação do problema.
- Causas raízes bem definidas e associadas a procedimentos, normas, políticas administrativas e controles, partindo do princípio que as raízes do problema sempre estão associadas a estes temas. Isso garante também que o sistema de gestão da organização sempre possa ser melhorado.
- Causa raízes em nível sistêmico, garantindo resolução mais abrangente do problema.

#### 6.6.2

##### Desvantagens

- Como o método já é bem definido, se estimula menos a criatividade sobre o sequenciamento até chegar a causa raiz do problema.

## 6.7

### Quadro comparativo dos métodos de análise de causa raiz e algumas características

Nesta sessão, uma comparação dos métodos estudados de análise de causa raiz é realizada, assim como algumas de suas características são apresentadas. A Tabela 20 apresenta uma comparação dos métodos de análise de causa raiz, destacando as suas principais características.

Tabela 20: Comparação dos métodos de análise de causa raiz (elaborado pela autora)

Método de ACR	Classificação	Consumo de tempo e recursos	Aplicação para problemas simples	Sequenciamento de atividades no tempo	Construída baseada em relações de causalidade	Visualização gráfica	Admite multicausalidade	Facilidade de uso	Dependência de expertise no método
5 Por quês	Alto		x		x			x	
	Baixo	x		x		x	x		x
Ishikawa	Alto		x		x	x	x	x	
	Baixo	x		x					x
Barreiras de Controle	Alto		x				x	x	
	Baixo	x		x	x	x			x
AAF	Alto	x			x	x	x		x
	Baixo		x	x				x	
GFCE	Alto	x		x		x	x		x
	Baixo		x		x			x	
Mapa de Causa Raiz	Alto	x				x	x		x
	Baixo		x	x	x			x	

De acordo com a Tabela 20, uma primeira consideração que pode ser feita é que os métodos 5 Por quês, Ishikawa e Barreiras de Controle, que consomem em geral menos tempo e recursos, são os que menos dependem da expertise dos investigadores sobre o método. Além disso, tais métodos não requerem o sequenciamento das atividades no tempo, a maioria deles é construída de relações de causalidade (exceto Barreiras de Controle) e possuem grande facilidade de uso, e por isso são indicados para problema menos complexos.

Por outro lado, os métodos AAF, GFCE e Mapa de Causa Raiz, que exigem maior tempo e recursos, são indicados para problemas mais complexos. Percebe-se que o recurso gráfico está presente nestes métodos, e a

multicausalidade é admitida, ou seja, um problema pode ter origem em várias causas (embora não seja característica presente apenas neste grupo de métodos). A alta expertise do método pelos investigadores também é requerida, complementando a afirmação de que tais métodos não possuem facilidade no uso, necessitando de estudo prévio do método.

Apenas o método GFCE é baseado no sequenciamento das atividades no tempo. Já em relação à construção baseada em relações de causalidade, metade dos métodos possui essa característica.

Todos os métodos admitem multicausalidade, exceto a Análise dos 5 por quês.

Assim, de maneira geral, pode-se entender que para problemas considerados simples por uma organização industrial, os métodos 5 por quês, Ishikawa e Barreiras de Controle tendem a ser mais adequados. Já para problemas mais complexos cujas causas raízes não são tão facilmente identificadas, os métodos AAF, GFCE e Mapa de Causa Raiz™ são considerados os mais indicados.

## Conclusões

No presente trabalho, após a realização de um levantamento de métodos de análise de causa raiz – Análise dos 5 por quês, Diagrama de Ishikawa, Barreiras de Controle, AAF, GFCE e Mapa de Causa Raiz™ - procedeu-se a aplicação de cada método em um exemplo elaborado de não conformidade em uma organização industrial. As características, vantagens e desvantagens de cada um dos métodos foram apresentadas, bem como a discussão dos resultados sobre a aplicação dos métodos no exemplo, e o estudo comparativo destacando características dos métodos.

Para todos os métodos e de acordo com o exemplo escolhido, os resultados apontaram uma causa raiz associada à falha de informações em instruções de trabalhos organizacionais.

Além disso, o estudo comparativo obteve o seguinte resultado: para problemas considerados simples por uma organização industrial, os métodos 5 por quês, Ishikawa e Barreiras de Controle tendem a ser mais adequados. Já para problemas mais complexos cujas causas raízes não são tão facilmente identificadas, os métodos AAF, GFCE e Mapa de Causa Raiz™ são considerados os mais indicados.

Desta forma, os objetivos propostos no início do trabalho “estudar os principais métodos de análise de causa raiz da literatura, apresentando suas etapas, características e peculiaridades”, “estudar como estes métodos podem ser aplicados através de exemplificação” e “realizar estudo comparativo desses métodos, destacando suas principais características” foram alcançados.

Para uma organização industrial que aplique um método de ACR, pode-se considerar como principal benefício desta o aumento da contribuição para os lucros. Este efeito não ocorre diretamente, mas ocorre devido aos seguintes fatores:

- Ausência ou redução da reincidência de falhas: recursos que seriam gastos para a correção de problemas que sempre se repetiriam passam a ser gastos

para resolver os problemas de maneira definitiva, ou seja, uma única vez. A diferença é que, ao invés de atuar apenas no sintoma do problema, passa-se a atuar na sua causa raiz.

- Aumento de produtividade: ao resolver falhas ou problemas de forma definitiva, evitando suas recorrências, paradas na linha de produção ou de processo organizacional não mais ocorrem. Deste modo, a taxa de produtividade tende a aumentar e consequentemente a organização se torna mais eficiente (produz mais com os mesmos recursos).
- Satisfação do cliente: perda da confiança de clientes devido a problemas de falta de qualidade não mais ocorrem, porque os problemas são efetivamente resolvidos. Além disso, este também não mais contribuem negativamente para a imagem da empresa perante o cliente – os custos de perda de confiança do cliente na empresa muitas vezes são incalculáveis.
- Aumento de conhecimento organizacional: um problema investigado de maneira profunda, até as suas causas raízes serem definidas garante maior conhecimento para a equipe de trabalho. Isto proporciona à equipe o hábito de resolver novos problemas a partir de um banco de soluções de problemas anteriormente resolvidos.

Como riscos da aplicação dos métodos pode-se citar a escolha equivocada do método a ser aplicado – por exemplo, escolher uma ferramenta muito complexa para analisar a causa raiz de um problema muito simples, ou um problema muito complexo ser investigado por uma ferramenta muito simples. O primeiro caso pode levar a empresa acreditar que há um excesso de burocracia e ficar desestimulada a utilizar os métodos como um todo. O segundo caso pode levar a empresa a não obter a real causa do problema, possibilitando que o problema se repita, e assim levar a organização a não mais acreditar na eficácia dos métodos de ACR.

Um ponto relevante a ser destacado, é o conhecimento da equipe investigadora a respeito do assunto que está sendo investigado. Quanto mais a equipe investigadora souber tecnicamente sobre o que está sendo analisado, mais chances existem para que a análise fique mais completa e rica de informações. Porém, ao mesmo tempo, o risco de inferências na análise aumenta, ou seja, pode

existir uma tendência dos investigadores, que já possuem expertise no assunto que está sendo investigado, desejarem pular etapas do método escolhido. Aí existe um risco da análise levar a uma causa raiz errada e a organização posteriormente investir recursos em ações corretivas desnecessárias, que não corrigirão o problema, além de ficarem suscetíveis à recorrência dos mesmos.

O campo de estudos de métodos de análise de causa raiz pode gerar estudos futuros, tais como:

- a descrição bem feita do problema, evidências e disponibilidade de dados pode contribuir positivamente para obtenção da causa raiz do problema; isso poderia ser discutido através de estudo de caso, comparando uma coleta pobre de dados, evidências e um problema mal definido e uma coleta rica em informações, dados, evidências e um problema bem delimitado;
- as recomendações ou ações corretivas após definição da causa raiz devem ser conduzidas para que a análise de causa raiz tenha continuidade na organização;
- pode ser formada uma base de dados a partir de problemas estudados para que a organização possa de maneira fácil consultar casos estudados para aprendizagem organizacional;
- implementação de metodologia de análise de causa raiz em uma empresa para investigação de problema e os ganhos trazidos por tal implementação – comparação da situação antes e depois;
- implementação do MASP em uma empresa para resolução de problema e os ganhos trazidos por tal implementação – comparação da situação antes e depois. Na aplicação do MASP, na fase de observação e/ou descrição do problema, um diagnóstico do problema poderia ser realizado a fim de que se classifique se o problema é considerado simples ou complexo pela organização.

## Referências bibliográficas

ALVAREZ, R.R. **Métodos de identificação, análise e solução de problemas: uma análise comparativa**, Curitiba, 2007.

AMMERMAN, M. **The Root Cause Analysis Handbook: a simplified approach to identifying, correcting, and reporting workplace errors**. Portland: Productivity, 1998.

BULLEMER, P.; LABERGE, J.C. **Common operations failure modes in the process industries**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2010, 928-935.

CAMPAGNARO, C.A.; REBELATO, M.G.; RODRIGUES, A.M.; RODRIGUES, I.C.; **Um estudo sobre métodos de análise e solução de problemas (MASP) na cadeia de fornecimento das montadoras automotivas nacionais**, In: Enegep, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008, Rio de Janeiro, anais, disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?pchave=MASP&ano=2008&x=0&y=0>>. Acesso em : 27 nov. 2013.

CAMPOS, V.F.; **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 7. ed. Belo Horizonte: Bloch, 1992.

CHELSON, J.V.; PAYNE, A.C.; REAVILL, L.R.P. **Management for Engineers, Scientists and Technologists**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. , 2005.

CROSBY, P.B. **Qualidade é investimento**. 3.ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1990.

CROSBY, P.B. **Qualidade – falando sério**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

DEMING, W.E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

GOIG, R.L. **Grupos de Discusión**. Madrid: ESIC, 2004.

HEUVEL, L.N.V.; LORENZO, D.K.; JACKSON, L.O.; HANSON, W.E.; ROONEY, J.J.; WALKER, D.A. **Root Cause Analysis Handbook: a guide to efficient and effective incident investigation**. *ABS Consulting*. 3.ed. Brookfield: Rothstein Associates Inc, 2008.

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

JURAN, J.M.; **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços.** 3.ed. São Paulo: Pioneira, 1997.

JURAN, J.M.; GODFREY, A.B. **Juran's Quality Handbook.** 5.ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1998.

KEPNER, C.H.; TREGOE, B.B. **The new rational manager.** Princeton: Princeton Research Press, 1981.

LIMNIOS, K. **Fault trees.** 1.ed. Londres: ISTE Ltd, 2007.

LORENTE, A.R.M.; DEWHURST, F.; DALE, B.G. **TQM and Business Innovation.** Disponível em <<http://repositorio.bib.upct.es:8080/jspui/bitstream/10317/442/1/tqm3.pdf>>. Último acesso 15/12/2013.

MARTINS, R.X. **Um modelo para estruturação do problema das perdas e retrabalhos no processo de litografia em uma indústria de embalagens metálicas em Pernambuco.** Pernambuco, 2011. 13p. Dissertação ( Mestrado em engenharia de produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada à probabilidade para engenheiros.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

PUJO, P.; PILLET, M. **Control by Quality: Proposition of a Typology.** *Quality Assurance*, 2002, 99-125.

ROONEY, J.J.; HOPEN, D. **On the trial to a solution... Part 2: What's in? What's out? Defining your problem.** *The Journal for Quality & Participation*, 2004, 34-37.

ROONEY, J.J.; HEUVEL, L.N.V. **Root Cause Analysis for Beginners.** *Quality Progress*, 2004, 45-53.

SHINGO, S. **Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System.** Portland: Productivity, 1986.

SHOOK, J. **Gerenciando para o aprendizado: usando o processo de gestão A3 para resolver problemas, promover alinhamento, orientar e liderar.** São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 2.d. São Paulo: Atlas, 2002.



Taproot. **7 Secrets of Root Cause Analysis.** Disponível em <<http://www.taproot.com>>. Último acesso 31/03/2013.

Taproot. **Using the TapRoot® system for chemical industry incident investigation.** Disponível em <<http://www.taproot.com/content/wp-content/uploads/legacy/Using%20the%20TapRoot®%20System.pdf>>. Último acesso 31/03/2013.

TERNER, G.L.K. **Avaliação da aplicação dos métodos de análise e solução de problemas em uma empresa metal-mecânica.** Porto Alegre, 2008. 33-55p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UBEROI, R.S.; GUPTA, U.; SIBAL, A. **Root Cause Analysis in Healthcare.** *Apollo Medicine*, Vol.1, 2004, 60-63.

URSPRUNG R.; GRAY, J. **Random Safety, Auditing, Root Cause Analysis, Failure Mode and Effects Analysis.** Disponível em <<http://ac.els-cdn.com/S0095510810000096/1-s2-S0095510>>. Último acesso 31/03/2013.

WEISS, A.E. **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know.** Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

ZAIRI, M.; DUGGAN, R. **Best Practice Process Innovation Management.** Oxford: Routledge, 1999.

## Anexo I – Lista expandida de categorias de fatores causais, segundo Ammerman (1998)

### Human Performance Problems

#### Causal Factor: Verbal Communication

Definition	The spoken presentation of information. The effectiveness of the presentation is affected by the method used to present the information.
Example	Inadequate information exchange face-to-face, telephone.
Modifier – communication type	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Face-to-face</li> <li>b. Telephone</li> <li>c. Intercom or page</li> <li>d. Hand signal</li> <li>e. Radio/headset</li> <li>f. Other (specify)</li> </ul>
Modifier – intended function	<ul style="list-style-type: none"> <li>g. Shift/job turnover</li> <li>h. Pre-job briefing</li> <li>i. Job performance</li> <li>j. Post-job follow up</li> <li>k. Other (specify)</li> </ul>
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Pre-job briefing not performed or not completed</li> <li>b. Consequences of potencial error not discussed before starting work</li> <li>c. Notification not made or required when the job began, as interrupted, or was not completed</li> <li>d. Shift turnover not performed or not completed</li> <li>e. Supervisor not notified of suspected problem</li> <li>f. Pertinent information not transmitted</li> <li>g. Information sent but not understood</li> <li>h. Inaccurate message transmitted</li> <li>i. Too much unfamiliar information presented at once</li> <li>j. Information communicated too late</li> <li>k. No means of communication available</li> <li>l. Inadequate or malfunctioning communication equipment</li> <li>m. Improper use of communication equipment</li> <li>n. Not properly coordinated with change implementation</li> <li>o. Interpretable or nonstandard language used</li> <li>p. Receiver not listening to sender</li> <li>q. Much of the information provided exceeded receiver's needs</li> <li>r. Priorities of assigned tasks not discussed</li> <li>s. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Written Procedures and Documents

Definition	The written presentation or exchange of information. The effectiveness of written communication is affected by the content of the document and the method used to present the information within the document.
Example	Inappropriate maintenance, operating, or special test procedure/instruction, inappropriate drawing, equipment manual, technical specification.
Modifier – Instruction type	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Permanent procedure</li> <li>b. Temporary procedure</li> <li>c. Informal</li> <li>d. Maintenance work request</li> <li>e. Vendor manual instruction</li> <li>f. Night orders/memos</li> <li>g. Drawings</li> <li>h. Technical specifications</li> <li>i. Clearance tagging or logs</li> <li>j. Other (specify)</li> </ul>
Modifier – instruction function	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Normal operation</li> <li>b. Abnormal operation</li> <li>c. Emergency operation</li> <li>d. Preventive maintenance</li> <li>e. Surveillance check or functional test</li> <li>f. Calibration</li> <li>g. Contamination control</li> <li>h. Chemical control</li> <li>i. Modification implementation</li> <li>j. Other (specify)</li> </ul>
Root Cause – method of presentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Instruction step or information in wrong sequence</li> <li>b. Format deficiencies</li> <li>c. Instructional presentation deficiencies</li> <li>d. Informational presentation deficiencies</li> <li>e. Improper referencing or branching</li> <li>f. Unclear or complex wording or grammar</li> <li>g. Illegibility</li> <li>h. Inappropriate emphasis on step or information</li> <li>i. Deficiencies in user aids (charts, etc.)</li> <li>j. Not properly coordinated with change implementation</li> <li>k. Procedure changes not made apparent to user</li> <li>l. Other (specify)</li> </ul>
Root Cause – content	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Insufficient information to identify the correct document</li> <li>b. Technical inaccuracies</li> <li>c. Omission of relevant information</li> <li>d. Inadequate documentation provisions</li> <li>e. Not properly coordinated with change implementation</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>f. Not designed for less practiced users</li> <li>g. Information is too generic (not equipment-specific)</li> <li>h. Not designed for practiced users (excessive detail)</li> <li>i. Other (specify)</li> </ul>
--	--

### Causal Factor: Man-Machine Interface

Definition	The design and maintenance of equipment used to communicate information from the equipment to a person or from a person to the equipment; also, the design consideration for equipment reliability.
Example	Insufficient or incorrect label, gauge, alarm, control device.
Modifier – type of display/signal	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Labels</li> <li>b. Demarcation/mimic lines</li> <li>c. Annunciators</li> <li>d. Status lights</li> <li>e. CRT/Video</li> <li>f. Printers</li> <li>g. Recorders</li> <li>h. Meters</li> <li>i. Audible</li> <li>j. Other (specify)</li> </ul>
Modifier – type of display/signal	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Knobs</li> <li>b. Handwheels</li> <li>c. Levers or slide switches</li> <li>d. Pushbuttons</li> <li>e. Switches</li> <li>f. Manual or auto selectors</li> <li>g. Setpoint selectors or controllers</li> <li>h. Computer entry devices</li> <li>i. Other (specify)</li> </ul>
Root Cause – interface design	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Control or display needed but absent</li> <li>b. Identification of control or display inadequate</li> <li>c. Inadequate layout design</li> <li>d. Readability inadequate</li> <li>e. Manipulability inadequate</li> <li>f. Accessibility inadequate</li> <li>g. Accuracy of display inadequate</li> <li>h. Precision of control inadequate</li> <li>i. Operating range inappropriate</li> <li>j. Design convention not followed</li> <li>k. Inadequate audible cues</li> <li>l. Not properly coordinated with change implementation</li> <li>m. Uniqueness of design not made apparent or emphasized</li> <li>n. Equipment reliability not adequately addressed in design</li> <li>o. Nontask information distracted from use of task information</li> <li>p. Other (specify)</li> </ul>

Root Cause – equipment condition	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Labels not maintained or restored</li> <li>b. Active displays not maintained or functional</li> <li>c. Controls not maintained or functional</li> <li>d. Other (specify)</li> </ul>
----------------------------------	---

### Causal Factor: Environmental Conditions

Definition	Definition. The physical condition encounter in the work area. The physical configuration of equipment effects the accessibility of the equipment and the condition of the physical surrounding or environment can affect maintainability or aging of the component.
Example	Inadequate lighting, work space, clothing; noise; ambient temperature.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Insufficient lighting</li> <li>b. Lengthy exposure to inadequate lighting</li> <li>c. Poor workplace layout</li> <li>d. Cramped conditions</li> <li>e. Untidy work area (water on floor, etc.)</li> <li>f. Too many people in area</li> <li>g. Excessive noise level</li> <li>h. Uncomfortable temperature and/or humidity</li> <li>i. Radiation in area</li> <li>j. Radiation associated with the task</li> <li>k. Respiratory protection equipment required</li> <li>l. Special industrial safety equipment required</li> <li>m. Uncomfortable amount or length of use of protective clothing</li> <li>n. Exposed hot piping, unsecured equipment, exposed shock hazard</li> <li>o. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Work Schedule

Definition	Those time-related factors that contribute to the ability of the worker to perform his assigned tasks in an effective manner. Excessive overtime, rotating shift work, and working on things for extended periods of time have and influence on how well an individual will be able to perform a task.
Example	Due to excessive overtime, a worker had insufficient time to prepare for or accomplish the task.
Modifier – type of problem	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Excessive overtime</li> <li>b. Call-in</li> <li>c. Overall schedule design</li> </ul>
Modifier – general effects of schedule	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Unable to adjust sleep to rotating schedule</li> <li>b. Normal sleep time disrupted by schedule</li> <li>c. Not discernible</li> </ul>
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Required alertness/vigilance</li> <li>b. Drowsiness on the job</li> <li>c. Slowed reaction time</li> <li>d. Reduced ability to control movement precisely</li> <li>e. Reduced ability to interpret, comprehend, diagnose</li> <li>f. Reduced ability to make judgments or decisions</li> <li>g. Problems performing repetitive tasks</li> <li>h. Reduced attention span</li> <li>i. Frequent attention to nonwork subjects (daydreaming)</li> <li>j. Assigned work schedule conflicted with work preference</li> <li>k. Insufficient time to prepare for task</li> <li>l. Insufficient time allotted for task</li> <li>m. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Work Practices

Definition	A method an employee routinely uses to ensure the safe and successful performance of a task. Included are the employee's practices for error detection, document use, equipment/material use, and work preparation.
Example	Lack of self-check, failure to follow procedures.
Modifier – document that states the work practice	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Administrative procedure</li> <li>b. Job procedure</li> <li>c. Other job documents</li> <li>d. Not formally stated</li> </ul>
Modifier – intended or required error detection method	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Self-checking</li> <li>b. Immediate check by second person</li> <li>c. Delayed check by second person</li> <li>d. Documented</li> <li>e. Direct</li> <li>f. Indirect</li> </ul>
Root Cause – error-detection practices	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Self-checking not applied to ensure correct unit or train</li> <li>b. System alignment, tagout, restoration not verified</li> <li>c. General equipment condition (temperature, pressure, etc.) not checked before starting work</li> <li>d. Self-checking not applied to ensure correct component prior to each action</li> <li>e. Self-checking not applied to ensure intended action is correct before it is performed</li> <li>f. Self-checking not applied to ensure expected response</li> <li>g. Other intended or required verification not performed</li> </ul>
Root Cause – document use practices	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Required procedures, drawings, etc., not used</li> <li>b. Documents not followed correctly</li> <li>c. Up-to-date documents not used</li> </ul>
Root cause—equipment/material use practices	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Used tool(s) not designed for job</li> <li>b. Unauthorized material substitution</li> <li>c. Improper/nonuse of protective environmental clothing</li> </ul>
Root cause—worker's preparation practices	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Not having needed materials, tools, or equipment at job site before starting job</li> <li>b. Not having proper information or instructions at job site before starting job</li> </ul>

### Causal Factor: Work Organization/ Planning

Definition	The work-related task. Included are the planning, scoping, and assignment of the task to be performed. How well a job is planned and organized plays an important role in getting the job completed on time and error-free.
Example	A worker was given insufficient time to prepare or to perform a task because the maintenance was not scheduled.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Insufficient time for worker to prepare for task</li> <li>b. Insufficient time allotted for task</li> <li>c. Duties not well distributed among personnel</li> <li>d. Too few workers assigned to task</li> <li>e. Insufficient number of trained or experienced workers assigned to task</li> <li>f. Planning not coordinated with inputs from walkdowns or task analysis</li> <li>g. Job scoping did not identify potential task interruptions or environmental stress</li> <li>h. Job scoping did not identify special circumstances/conditions</li> <li>i. Work planning not coordinated with all departments involved in task</li> <li>j. Task has repetitious subtasks</li> <li>k. Other (specify)</li> </ul>



### Causal Factor: Supervisory Method

Definition	A technique used to directly control work-related tasks; in particular, a method used to direct and monitor workers in the accomplishment of tasks.
Example	Inadequate direction, supervisor interference, and overemphasis on schedule.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Duties and tasks not made clear to worker</li> <li>b. Progress or status of task not adequately tracked</li> <li>c. Appropriate level of in-task supervision not determined prior to task</li> <li>d. Direct supervisory involvement in task interfered with overview role</li> <li>e. Emphasis on schedule exceeded emphasis on methods and doing a good job</li> <li>f. Job performance and self-checking standards not properly communicated</li> <li>g. Too many concurrent tasks assigned to employee</li> <li>h. Frequent job or task “shuffling”</li> <li>i. Assignment did not consider employee’s need to use higher-order skills</li> <li>j. Assignment did not consider effects of employee's previous task</li> <li>k. Assignment did not consider employee’s ingrained work patterns</li> <li>l. Contact with assigned personnel too infrequent to detect employee attitude changes</li> <li>m. Feedback provided on negative performance but not on positive performance</li> <li>n. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Training/ Qualifications

Definition	Definition. The process of presenting information on how a task is to be performed prior to the accomplishment of the task. Based on task frequency, this includes periodic refresher training to determine proficiency and actions taken to correct training deficiencies. The effectiveness of training is affected both by the method and content of the training.
Example	Insufficient technical knowledge, lack of training, inadequate training materials, improper use of tools, insufficient practice.
Modifier – how was training content established?	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Task analysis performed</li> <li>b. No task analysis performed</li> </ul>
Modifier – how long since person involved successfully performed or showed competence in task?	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Knobs</li> <li>b. Handwheels</li> <li>c. Levers or slide switches</li> <li>d. Pushbuttons</li> <li>e. Switches</li> <li>f. Manual or auto selectors</li> <li>g. Setpoint selectors or controllers</li> <li>h. Computer entry devices</li> <li>i. Other (specify)</li> </ul>
Modifier—how was person involved trained for task?	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Classroom lecture</li> <li>b. Laboratory training</li> <li>c. Guided self-study/computer-assisted</li> <li>d. Informal on-the-job training</li> <li>e. Structured on-the-job training</li> <li>f. Part-task simulator</li> <li>g. Equipment-specific simulator</li> <li>h. Generic simulator</li> <li>i. Equipment mock-up</li> <li>j. Skill learned on previous job at another facility</li> <li>k. No training provided</li> <li>l. Other (specify)</li> </ul>
Root Cause – training content	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Generic systems or components</li> <li>b. Specific systems or components</li> <li>c. Systems or components being operated or worked on</li> <li>d. Tools or equipment used to perform task</li> <li>e. Procedures or references used to perform task</li> <li>f. Relation of task to overall plant operations</li> <li>g. Potential consequences of inappropriate actions</li> <li>h. Verification or self-checking practices</li> <li>i. Importance of quality control function</li> <li>j. Job performance standards</li> <li>k. How to work as a crew/team</li> <li>l. Demonstrating task proficiency</li> <li>m. Other (specify)</li> </ul>

Root Cause – training method	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Inadequate presentation of course materials</li> <li>b. Insufficient practice or hands-on experience</li> <li>c. Inadequate assessment of task proficiency</li> <li>d. Insufficient refresher training</li> <li>e. Absence of training objectives</li> <li>f. Task performance deficiencies not fed back into development of objectives</li> <li>g. No training provided</li> <li>h. Not properly coordinated with change implementation</li> <li>i. Inadequate simulator fidelity</li> <li>j. Other (specify)</li> </ul>
------------------------------	---

### Causal Factor: Change Management

Definition	The process whereby the hardware or software associated with a particular operation, technique, or system is modified.
Example	Inappropriate modification; lack of change-related retraining, revised procedures, documents.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Problem identification methods did not identify need for change</li> <li>b. Change not implemented in a timely manner</li> <li>c. Inadequate resources applied to change</li> <li>d. Inadequate vendor support of change</li> <li>e. Risks and consequences associated with change not adequately reviewed or assessed</li> <li>f. System interactions not considered</li> <li>g. Personnel and department interactions not considered</li> <li>h. Effect of change on schedules not adequately addressed</li> <li>i. Change-related equipment</li> <li>j. Change-related documents not developed or revised</li> <li>k. Change-related equipment not provided or not revised</li> <li>l. Pre-job briefing/shift turnover not completed concerning change</li> <li>m. Change not identifiable during task</li> <li>n. Accuracy and effectiveness of change not verified or validated</li> <li>o. Ineffectiveness of change not acted on</li> <li>p. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Resource Management

Definition	The process whereby manpower and material are allocated for a particular task or objective.
Example	Unavailability of tools, information, personnel, supervision.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Too many administrative duties assigned to immediate supervisors</li> <li>b. Insufficient supervisory resources to provide needed supervision</li> <li>c. Insufficient manpower to support identified goal or objective</li> <li>d. Resources not provided to ensure adequate training is provided and maintained</li> <li>e. Needed changes not approved or funded</li> <li>f. Means not provided for ensuring procedures and documents are of adequate quality and up-to-date</li> <li>g. Means not provided for ensuring adequate availability of appropriate materials and tools</li> <li>h. Means not provided for ensuring adequate equipment quality, reliability, and operability</li> <li>i. Personnel selection methods did not ensure match of worker motivations and job description</li> <li>j. Job performance and professionalism standards are not adequately defined or enforced</li> <li>k. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Managerial Management

Definition	Techniques used to direct, monitor, assess, modify, or exercise accountability relative to the performance of activities.
Example	Insufficient/lack of accountability, policy, goals, schedule; failure to ensure previous problem resolved; insufficient use of operating experience; lack of proper assignment of responsibility; not communicating or enforcing high standards; lack of safety awareness.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Goals and objectives did not address all known problem areas, such as maintenance or engineering backlogs</li> <li>b. Methods did not permit timely response to known problem(s)</li> <li>c. Methods did not ensure inclusion of all appropriate inputs in goal/objective-setting process</li> <li>d. Methods did not ensure sufficient information to support decision</li> <li>e. Risks and consequences of decisions not completely identified or assessed</li> <li>f. Effectiveness of methods or assignments not adequately tracked</li> <li>g. Methods allowed approval of proposal or document without adequate critique</li> <li>h. Methods did not ensure inclusion of all appropriate inputs in scheduling process</li> <li>i. Methods did not ensure sufficient interdepartmental communications</li> <li>j. Talents or innovative strengths of subordinates not used effectively</li> <li>k. Did not communicate bases/justifications of decisions affecting subordinates 1. Methods resulted in punitive response to unintentional actions</li> <li>l. Methods resulted in punitive response to unintentional actions</li> <li>m. Policy not adequately defined</li> <li>n. Policy not adequately disseminated</li> <li>o. Policy not adequately enforced</li> <li>p. Other (specify)</li> </ul>

## Equipment Performance Problems

### Causal Factor: Design/ configuration and analysis

Definition	The design and layout of systems or subsystems needed to support operations and maintenance. This includes initial design specifications, design calculations and analysis, material selection, and control of subsequent design changes.
Example	Inappropriate layout of system or subsystem; inappropriate component orientation; component omission; errors in assumptions, methods, or calculations during design or establishing operational limits; improper selection of materials, components; operating environment not considered in original design.
Root Cause – configuration/design change	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Design changes not implemented in a timely fashion</li> <li>b. Design changes not compatible with as built (configuration at time of implementation)</li> <li>c. Design change not properly coordinated with design change implementation</li> <li>d. Original problem not resolved by design change implementation</li> <li>e. Equipment or system availability not considered in original design</li> <li>f. Maintainability not considered in original design or design change (maintenance/testing)</li> <li>g. Equipment not designed for the operating, seismic, or environmental conditions (e.g., temperature, humidity, chemistry, stress cycles)</li> </ul>
Modifier – design analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Misapplication or interpretation of design inputs (engineering codes and standards, regulatory requirements, licensing commitments, design basis, design criteria)</li> <li>b. Inadequate independent review</li> <li>c. Inadequate safety review</li> <li>d. Inadequate failure modes and effects analysis (FMEA)</li> <li>e. Analysis deficiency (calculations: stress, hydraulic, thermal, electrical, other)</li> <li>f. Design change prepared using inaccurate or incomplete documentation (drawings, vendor information, other)</li> <li>g. System or component configuration problem (as-built/ documentation)</li> <li>h. Proven equipment design not considered (equipment maintenance history)</li> <li>i. Inadequate post-modification testing specified by engineering</li> <li>j. Inadequate or improper sequence specified for</li> </ul>

	<p>installation of multiple design changes</p> <ul style="list-style-type: none"><li>k. Poor ergonomics (human factors engineering)</li><li>l. Improper component selection</li><li>m. Wrong operating or environmental parameters</li><li>n. Improper material selection</li><li>o. Unanticipated interaction of systems or components</li><li>p. System or component functional design deficiency (logic, instrumentation, application, etc.)</li><li>q. Inadequate supports installed</li><li>r. Inadequate field walkdown input to design change for operability, maintainability, constructability, and testability</li><li>s. Inadequate review of field changes/accumulative effects of all field changes</li><li>t. Unauthorized or unreviewed modification</li><li>u. Other (specify)</li></ul>
--	--

### Causal Factor: Equipment Conditions

Definition	The failure mechanism of the equipment is due to the physical condition of the equipment.
Example	Erosion of the inside of a pipe due to steam/water droplet impingement.
Root cause - embrittlement, overload, stress, aging, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Strain—age embrittlement</li> <li>b. 500 F embrittlement</li> <li>c. Quench age embrittlement</li> <li>d. Temper embrittlement</li> <li>e. Hydrogen embrittlement</li> <li>f. Blue embrittlement</li> <li>g. Stress corrosion cracking (embrittlement)</li> <li>h. 400c-500c embrittlement</li> <li>i. Sigma-phases embrittlement</li> <li>j. Granulization</li> <li>k. Intermetallic-compound embrittlement</li> <li>l. Neutron embrittlement</li> <li>m. Compressive overload</li> <li>n. Sheer overload</li> <li>o. Tension overload</li> <li>p. Torsion overload</li> <li>q. Turbulence vibration</li> <li>r. Submerged vortices</li> <li>s. Vortex shedding vibration</li> <li>t. Vane passing pressure pulses</li> <li>u. Fluideiastic instability</li> <li>v. Unbalancing</li> <li>w. Misalignment</li> <li>x. Oil whirl vibration</li> <li>y. Mechanical interference</li> </ul>
Root cause—fatigue, erosion, corrosion, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Torsional vibration</li> <li>b. Rotating bending fatigue</li> <li>c. Unidirectional bend/fatigue</li> <li>d. Torsional fatigue</li> <li>e. Corrosion fatigue</li> <li>f. Water droplet erosion</li> <li>g. Cavitation erosion</li> <li>h. General corrosion</li> <li>i. Erosion/corrosion</li> <li>j. Galvanic corrosion</li> <li>k. Crevice/pitting corrosion</li> <li>l. Water hammer</li> <li>m. Inadequate lubrication</li> <li>n. Interference from a moving object</li> <li>o. Misdesign load bearing structure</li> <li>p. Conductive interference</li> <li>q. Capacitive interference</li> <li>r. Inductive interference</li> <li>s. Radiative interference</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>t. Overheating</li> <li>u. Overpressurization</li> <li>v. Overvoltage</li> <li>w. Other (specify)</li> </ul>
--	---

### Causal Factor: Environmental Conditions

Definition	The condition can be attributed to the physical condition of the equipment area, or its environment, such as temperature, humidity, radiation, etc.
Example	A worker received an electrical shock due to exposed wiring.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Poor layout (ventilation problems)</li> <li>b. Untidy area (water, debris on floor, etc.).</li> <li>c. Temperature</li> <li>d. Humidity</li> <li>e. High radiation in area</li> <li>f. Special industrial safety equipment</li> <li>g. Exposed hot piping, unsecured equipment, exposed shock hazard</li> <li>h. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Equipment Specification Manufacture and Construction

Definition	The process that includes the manufacture and installation of equipment.
Example	Improper heat treatment, machining, casting, on-site fabrication, installation.
Modifier – manufacturing / installation deficiency	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Company</li> <li>b. Contractor</li> <li>c. Vendor</li> </ul>
Root cause—manufacturing	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Planning error</li> <li>b. Inappropriate manufacturing standard applied</li> <li>c. Manufacturing standard improperly applied</li> <li>d. Material deficiency</li> <li>e. Fabrication deficiency</li> <li>f. Inadequate technical requirements in component/part manufacture specification</li> <li>g. Wrong material used in fabrication</li> <li>h. Wrong sequence fabricated</li> <li>i. Defective material</li> <li>j. Lack of proper tools for fabrication</li> <li>k. Original component or part manufacturing specification used (not updated)</li> <li>l. Inappropriate service requirements</li> <li>m. Inappropriate component or system interface requirements</li> <li>n. Lack of proper tools used for installation</li> <li>o. Quality problems (workmanship, etc.)</li> <li>p. QC not called for</li> <li>q. QC not performed</li> <li>r. Inadequate QC requirements</li> <li>s. Inadequate foreign material exclusion</li> <li>t. Inadequate or incorrect spare parts</li> <li>u. Inappropriate performance requirements</li> <li>v. Not per design fabrication</li> <li>w. Other (specify)</li> <li>x.</li> </ul>
Root cause—installation/construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Improper assembly</li> <li>b. Improper installation</li> <li>c. Planning error</li> <li>d. Inadequate/improper assembly or installation instructions</li> <li>e. Improper material used</li> <li>f. Other (specify)</li> </ul>
Root cause—construction deficiencies	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Improper construction</li> <li>b. Inappropriate instructions</li> <li>c. Inadequate QA/QC</li> <li>d. Construction code improperly applied</li> <li>e. Inadequate code used</li> <li>f. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Maintenance/ Testing

Definition	The process of ensuring that components/systems are maintained in the optimum condition and tested for operability.
Example	Inadequate maintenance, insufficient post-maintenance testing, inadequate preventative maintenance, inadequate quality control function.
Modifier – type of maintenance/ testing	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Corrective maintenance</li> <li>b. Preventive maintenance</li> <li>c. Post-maintenance testing</li> <li>d. Maintenance work request</li> <li>e. Surveillance</li> </ul>
Root cause— maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Corrective maintenance performance did not fix problem</li> <li>b. Other problems noted during performance of maintenance activities not corrected</li> <li>c. Improper reassembly of component</li> <li>d. Inadequate preventive maintenance</li> <li>e. No preventive maintenance performed</li> <li>f. Work in proximity contributed to failure</li> <li>g. Other (specify)</li> </ul>
Root cause- testing	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Required testing not performed</li> <li>b. Inadequate post-maintenance/modification testing</li> <li>c. Retest delayed</li> <li>d. Testing not performed as scheduled</li> <li>e. Testing not specified</li> <li>f. Test acceptance criteria not specified or clearly stated</li> <li>g. Improper test equipment</li> <li>h. Test results not reviewed for acceptability by appropriate personnel</li> <li>i. Other (specify)</li> </ul>
Root cause— quality control function	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. No quality control required</li> <li>b. Quality control not called or informed</li> <li>c. Quality control not performed</li> <li>d. Quality control requirements inadequate</li> <li>e. Inadequate foreign material exclusion</li> <li>f. Inadequate/incorrect spare parts</li> <li>g. Other (specify)</li> </ul>

### Causal Factor: Equipment/ Systems Operation

Definition	Reflects the actual performance of the system or component when performing its intended function.
Example	Operating parameters, changes in parameter performance.
Modifier – failure noted during	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Startup</li> <li>h. Shutdown</li> <li>i. Normal operation</li> <li>j. Emergency operation</li> </ul>
Root cause— failure was the result of	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Component or system not operated within design parameters</li> <li>b. Effect of changing operating parameters not properly evaluated</li> <li>c. Operating parameters not effective—wrong operating parameters, unable to prevent the primary effect from occurring</li> <li>d. Inaccurate indication</li> <li>e. Insufficient monitoring of component</li> <li>f. Externally damaging conditions not corrected</li> <li>g. Erratic performance not noted</li> <li>h. Degraded subcomponent contribute to failure</li> <li>i. Not operated per procedure</li> <li>j. Component aging</li> <li>k. Lack of preventive maintenance</li> <li>l. Other (specify)</li> </ul>

### External Forces

#### Beyond the usual control of the company

Definition	Influence outside the usual control of the company.
Example	Storm, flood, vandalism, animals.
Root Cause – no human	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Hurricane</li> <li>b. Tornado</li> <li>c. Severe straight-line winds</li> <li>d. Flooding</li> <li>e. Earthquake</li> <li>f. Animal interference</li> <li>g. Indirect lightning strike</li> <li>h. Direct lightning strike</li> <li>i. Weather</li> <li>j. Other (specify)</li> </ul>
Modifier – human	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Regulatory</li> <li>b. Sabotage</li> <li>c. Vandalism</li> <li>d. Collision</li> <li>e. Illness on the job</li> <li>f. Personal problems or distractions</li> <li>g. Other (specify)</li> </ul>

## Anexo II – Elementos do Mapa de Causa Raiz™, segundo Heuvel et al. (2008)

Nó	Descrição
2	Equipment/Software Issue
3	Front-line Personnel Issue
4	External Factors
5	Tolerable Risk
6	Cause Cannot Be Determined
7	Process/ Manufacturing Equipment Issue
8	Software Issue
9	Material Product Issue
10	Utility/Support Equipment Issue
11	Other Equipment Issue
12	Company Personnel Issue
13	Contract Issue
14	Third-party Personnel Issue
15	Natural Phenomena
16	External Events
17	External Sabotage and Other Criminal Activity
18	Design Issue
19	Design Input Issue
20	Design Scope Issue
21	Design Input Data
22	Design Output Issue
23	Design Output Incorrect
24	Design Output Unclear or Inconsistent
25	Design Review/ Verification Issue
26	No Review/ Verification
27	Review/ Verification Issue
28	Equipment Reliability Program Issue
29	Equipment Reliability Program Design Issue
30	Critical Equipment Not Identified
31	No or Inappropriate Maintenance Selected
32	Risk Acceptance Issue
33	Periodic Maintenance Issue
34	Scope Issue
35	Frequency Specification Issue
36	Implementation Issue
37	Event-based Maintenance Issue
38	Scope Issue
39	Event Specification Issue
40	Monitoring Issue
41	Implementation Issue
42	Condition-based Maintenance Issue
43	Scope Issue
44	Detection Method Issue

45	Monitoring Issue
46	Data Interpretation Issue
47	Fault-finding Maintenance and Inspection Issue
48	Scope Issue
49	Scheduling/ Frequency Issue
50	Implementation Issue
51	Corrective Maintenance Issue
52	Troubleshooting/Corrective Action Issue
53	Repair Implementation Issue
54	Routine Inspection and Servicing Issue
55	Scope Issue
56	Scheduling/Frequency Issue
57	Troubleshooting/Corrective Action Issue
58	Documentation and Records Issue
59	Equipment Records and manuals Issue
60	Documentation Content Inaccurate or Incomplete
61	Documents Not Available or Missing
62	Out-of-date Documents Used
63	Operational and maintenance History Issue
64	Documentation Content Inaccurate or Incomplete
65	Documents Not Available or Missing
66	Out-of-date Documents Used
67	Risk Assessment Records Issue
68	Documentation Content Inaccurate or Incomplete
69	Documents Not Available or Missing
70	Out-of-date Documents Used
71	Personnel Records Issue
72	Documentation Content Inaccurate or Incomplete
73	Documents Not Available or Missing
74	Out-of-date Documents Used
75	Others Documents and Records Issue
76	Documentation Content Inaccurate or Incomplete
77	Documents Not Available or Missing
78	Out-of-date Documents Used
79	Material/Parts and Product Issue
80	Material/Parts Issue
81	Purchasing Specification Issue
82	Packaging Specification Issue
83	Acceptance Criteria Issue
84	Acceptance Testing Implementation Issue
85	Handling and Storage issue
86	Inventory Level Issue
87	Product Control and Acceptance Issue
88	Product Specification Issue
89	Product Acceptance Criteria Issue
90	Inspection Issue
91	Packing, Handling, Transporting Issue
92	Storage Issue
93	Inventory level Issue
94	Hazard/Defect identification and Analysis Issue

95	Readiness Review Issue
96	Review Not Performed
97	Implementation Issue
98	Change Control Issue
99	Change Identification Issue
100	No Change Assessment Performed
101	Change Assessment Issue
102	Change Assessment Timing Issue
103	Risk Acceptance Issue
104	Proactive Risk/Safety/Reliability/Quality/Security Analysis Issue
105	Analysis Not Performed
106	Analysis Issue
107	Recommendation Identification Issue
108	Recommendation Implementation Issue
109	Risk Acceptance Issue
110	Reactive Risk/Safety/Reliability/Quality/Security Analysis Issue
111	Problem/Incident Reporting/identification Issue
112	Investigation Issue
113	Recommendation Identification Issue
114	Recommendation Implementation Issue
115	Risk Acceptance Issue
116	Inspection/Audit/Measurement Issue
117	Requirements Not Identified
118	Implementation Issue
119	Recommendation Identification Issue
120	Issue Tracking/ Implementation Issue
121	Risk Acceptance Issue
122	Procedure Issue
123	Correct Procedure Issue
124	No Procedure for Task/Operation
125	Procedure Difficult to Obtain
126	Procedure Use Discouraged
127	Procedure Difficult to Use
128	Language Issue
129	Procedure Difficult to Identify
130	Wrong Revision Used
131	Correct Procedure Used Incorrectly
132	Format Inappropriate
133	Confusing/Complex/Difficult to Use
134	More than One Action Per Step
135	Inadequate Checklist
136	Graphics/Drawing Issue
137	Language/Wording Issue
138	Insufficient or Excessive References
139	Too Much/Too Little Detail
140	Appropriate Procedure Incorrect/Incomplete
141	Wrong Action Sequence/Ordering
142	Facts Wrong, Requirements Incorrect, or Content Not Updated
143	Inconsistent Procedural Requirements
144	Missing Steps/Content/Situation Not Covered

145	Overlap or Gaps Between Procedures
146	Human Factors Issue
147	Tools/Equipment Issue
148	Appropriate Tools/Equipment not Used
149	Tools/Equipment Not Functioning Properly
150	Workplace Layout Issue
151	Individual Control/Display/Alarm Issue
152	Control/Display/Alarm Integration/ Arrangement issue
153	Awkward/Inconvenient/Inaccessible Location of Control/Display/Alarm
154	Awkward/Inconvenient/Inaccessible Equipment Location
155	Poor/Illegible Labeling of Control/Display/Alarm or Equipment
156	Work Environment Issue
157	Housekeeping Issue
158	Ambient Conditions Issue
159	Protective Clothing/Equipment Issue
160	Physical Workload Issue
161	Sustained High Workload/Fatigue
162	High Transient Workload
163	Mental Workload Issue
164	Knowledge-based Behavior Issue
165	Rule-based Behavior Issue
166	Skill-based Behavior Issue
167	Unrealistic Monitoring Requirement
168	Error Mitigation Issue
169	Errors Not Detectable
170	Errors Could Not Be Corrected/Mitigated
171	Training/Personnel Qualification Issue
172	No Training
173	Decision Not to Train
174	Training Need Not Identified
175	Training Requirements Not Completed
176	Training Implementation Issue
177	Training Program Design/Development Issue
178	Classroom Training Issue
179	Laboratory/Practical Training Issue
180	On-the-job Training Issue
181	Self Study and Computer-based Training Issue
182	Continuing Training Issue
183	Training Resources Issue
184	Qualification Issue
185	Supervision Issue
186	Preparation Issue
187	Job Plan/Instructions to Workers Issue
188	Ineffective Walkthrough
189	Job Scheduling Issue
190	Personnel Selection/Assignment/Scheduling Issue
191	Responsibility/Authority Issue
192	Supervision During Work Issue
193	Improper Performance Not Corrected
194	Teamwork/Coordination Issue



195	Too Much/Too Little Supervision
196	Verbal and Informal Written Communication Issue
197	No Communication or Not Timely
198	Method Unavailable or Inadequate
199	Communication Not Timely/Not Performed
200	Communication Misunderstood/Incorrect
201	Standard Terminology Not Used
202	Language/Translation Issue
203	Verification/Repeat-back Not Used
204	Long Message
205	Other Misunderstood Communications
206	Wrong Instructions
207	Personnel Performance Issue
208	Company Issue
209	Personnel Hiring Issue
210	Resource/Staffing Issue
211	Rewards/Incentives Issue
212	Detection of Individual Performance Problem Issue
213	Individual Issue
214	Sensory/Perceptual Abilities Issue*
215	Mental Capabilities Issue*
216	Physical Capabilities Issue*
217	Personal Problem*
218	Prescribed Drug Interaction Issue*
219	Horseplay*
220	Off-the-job Rest/Sleep (Fatigue) Issue*
221	Disregard for Company Procedures/Policies*
222	Drug/Alcohol Abuse*
223	Internal Sabotage or Criminal Activity*
224	Enter here with each intermediate cause
225	Company Standards, Policies and Administrative Controls (SPAC) Issue
226	No SPAC or Issue Not Addressed in SPAC
227	SPAC Not Strict Enough
228	SPAC Confusing or Contradictory
229	SPAC Incorrect
230	Company Standards, Policies and Administrative Controls (SPAC) Not Used
231	Unaware of SPAC
232	SPAC Recently Changed
233	SPAC Enforcement Issue

\* Itens apenas para propósito descritivo. Na metodologia deve ser utilizado deste ramo apenas o nó 227 (Personnel Performance Issue).