

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS PARA A APLICAÇÃO DE TÉCNICAS
MULTIVARIADAS EM PROJETOS SEIS SIGMA: ESTUDO DE CASOS

FABIANO RODRIGUES SORIANO

SÃO CARLOS

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES CRÍTICOS PARA A APLICAÇÃO DE TÉCNICAS
MULTIVARIADAS EM PROJETOS SEIS SIGMA: ESTUDO DE CASOS

AGENCIA FINANCIADORA: CAPES

FABIANO RODRIGUES SORIANO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Pedro Carlos Oprime.

São Carlos

2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S714if

Soriano, Fabiano Rodrigues.

Identificação dos fatores críticos para a aplicação de técnicas multivariadas em projetos Seis Sigma : estudo de casos / Fabiano Rodrigues Soriano. -- São Carlos : UFSCar, 2012.

144 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Gestão da qualidade. 2. Análise multivariada. 3. Fatores críticos de sucesso. 4. Melhoria contínua. 5. Seis sigma. I. Título.

CDD: 658.562 (20^a)



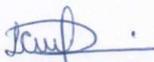
FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): Fabiano Rodrigues Soriano

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 27/02/2012 PELA
COMISSÃO JULGADORA:


Prof. Dr. Pedro Carlos Oprime
Orientador(a) PPGE/UFSCar


Prof. Dr. Mário Orestes Aguirre González
DEP/UFRN


Profª Drª Teresa Cristina Martins Dias
DES/UFSCar


Profª Drª Marcela Aparecida Guerreiro Machado
FEG/UNESP


Prof. Dr. Mário Otávio Batalha
Coordenador do PPGE/UFSCAR

RESUMO

As organizações enfrentam situações problemáticas que envolvem a análise de um conjunto significativo de variáveis correlacionadas para reduzir a variabilidade dos processos produtivos. Há muitas abordagens, métodos e técnicas de apoio à solução de problemas; entretanto tem obtido destaque na literatura e adotado pelas empresas o Seis Sigma, cujo um dos objetivos é identificar e eliminar as causas de variação do produto e processo por meio do uso de técnicas estatísticas. A Análise de Dados Multivariados (MDAs) pertencem a um conjunto de técnicas que analisam simultaneamente a relação existente entre diversas variáveis, ainda pouco difundidas nos programas de treinamento em Seis Sigma. Esta pesquisa tem caráter qualitativo-descritivo, cujo objetivo é confirmar as dimensões críticas apontadas por Firka (2011) e Montgomery (2010) que comprometem o uso de métodos estatísticos em problemas da manufatura no contexto dos programas Seis Sigma, por meio do estudo de casos. Os resultados desta pesquisa confirmam a associação entre as barreiras no uso de técnicas MDAs a fatores de ordem gerencial e sociológica, tais como, a falta de suporte gerencial, foco em resultados de curto prazo, fatores de ordem metodológica (seleção e validação das variáveis e dos resultados) e aos pressupostos estatísticos (Normalidade Multivariada, Multicolinearidade e Homocedasticidade).

Palavras chaves: Análise de Dados Multivariados (MDAs). Fatores Críticos. Melhoria Contínua (MC). Projetos Seis Sigma.

ABSTRACT

The organizations face problematic situations that involve the analysis of a significant number of correlated variables to reduce the variability of production processes. There are many approaches, methods and techniques to support problem solving, however has achieved distinction in literature and adopted by Six Sigma companies, one of whose goals is to identify and eliminate the causes of variation in product and process through the use of techniques statistics. The Multivariate Data Analysis (MDAs) belongs to a set of techniques that examine both the relationship between several variables, have not been included in intensive training programs in Six Sigma. This research is qualitative and descriptive, whose purpose is to confirm the dimensions criticism from Firka (2011) and Montgomery (2010) agree that the use of statistical methods to problems of manufacturing in the context of Six Sigma programs, through the study of multiple cases. These research findings confirm the association between the use of technical barriers in the MDAs to factors of management and sociology, such as the lack of management support, focus on short-term results, the methodological factors (selection and validation of variables and results) and the statistical assumptions (multivariate normality, multicollinearity and homoscedasticity).

Keywords: Multivariate Data Analysis (MDAs). Critical factors. Continuous Improvement (CI). Six Sigma Project.

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 — Conjunto de Habilidades e Comportamentos para a Melhoria Contínua	16
Quadro 2.2 — Níveis de Maturidade em MC	18
Quadro 2.3 — Qualidade da Informação.....	20
Quadro 2.4 — Tipos de variáveis	32
Quadro 3.1 — Ferramentas estatísticas mais utilizadas no Seis Sigma	33
Quadro 3.2 — Indicadores de processo.....	39
Quadro 3.3 — Pontos Principais Para Uso Efetivo da DOE.....	44
Quadro 4.1 — MDAs Utilizadas no Seis Sigma.....	59
Quadro 4.2 — Principais Características das MDAs.....	79
Quadro 4.3 — Fatores que contribuem para uma efetiva aplicação das MDAs em projetos Seis Sigma ...	82
Quadro 6.1 — Pessoas entrevistadas na empresa A.....	88
Quadro 6.2 — Aplicação Das MDAs Em Projetos Seis Sigma Na Empresa A.....	89
Quadro 6.3 — Características de Qualidade Dos Dados na empresa A	92
Quadro 6.4 — Entrevistado na Empresa B.....	99
Quadro 6.5 — Uso e importância das MDAs em projetos seis sigma na empresa B	99
Quadro 6.6 — Características de Qualidade Dos Dados	103
Quadro 6.7 — Pessoa Entrevistada na Empresa C.....	112
Quadro 6.8 — Aplicação Das MDAs Em Projetos Seis Sigma Na Empresa C.....	112
Quadro 6.9 — Características de Qualidade Dos Dados na empresa C	115
Quadro 6.10 — Comparativo da aplicação das MDAs em projetos Seis Sigma nas empresas estudadas	121
Quadro 6.11 — Resumo das observações referente à dimensão estatística nas empresas estudadas.....	122
Quadro 6.12 — Boas práticas para melhorar a qualidade de dados	123
Quadro 6.13 — Resumo das observações referente à dimensão técnica e metodológica nas empresas estudadas	125
Quadro 6.14 — Resumo das observações referente à sociológica e gerencial nas empresas estudadas. ...	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 3. 1 — Histograma	34
Figura 3. 2 — Diagrama de Pareto.....	35
Figura 3. 3 — Diagrama de causa e efeito.....	36
Figura 3. 4 — Gráfico de controle.....	40
Figura 3. 5 — Diagrama de Dispersão	41
Figura 3. 6 — Box Plot	42
Figura 5. 1 — Modelo Conceitual.....	85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Objetivo	9
1.2 Justificativa	10
2 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS COMO SUPORTE PARA A MELHORIA CONTÍNUA	11
2.1 Introdução	11
2.2 Conceitos Básicos da Melhoria Contínua	14
2.3 Sistema de Informação para a MC.....	18
2.4 A Abordagem do Controle Estatístico de Processo Para a Melhoria e Inovação Contínua.....	20
2.5 O Seis Sigma e a Melhoria da Qualidade e Inovação Contínua	22
2.5.1 Aspectos Estratégico e Gerencial do Seis Sigma	24
2.5.2 Aspecto Estatístico do Seis Sigma	29
2.5.2.1 Tipos de Variáveis	30
3 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS UNIVARIADAS PARA MELHORIA DA QUALIDADE.....	33
3.1 Histograma	33
3.2 Diagrama de Pareto	34
3.3 Diagrama de Causa-e-Efeito	35
3.4 Folhas de Verificação	37
3.5 Gráfico de Controle.....	37
3.6 Diagrama de Dispersão	40
3.7 Diferença entre Grupos.....	41
3.8 <i>Design</i> de Experimentos.....	42
4 FERRAMENTAS MULTIVARIADAS PARA MELHORIA DA QUALIDADE	46

4.1 Fundamentos e Aplicações das MDAS	46
4.2 Pressupostos das Técnicas Multivariadas	52
4.3 Classificação das MDAs	57
4.3.1 Análise de Cluster.....	59
4.3.2 Componente Principal.....	63
4.3.3 Análise Discriminante	64
4.3.4 Análise Fatorial	68
4.3.5 Componentes de Variância	72
4.3.6 Regressão Múltipla.....	74
4.4 Aplicações das MDAs em Projetos Seis Sigma.....	78
4.5 Variáveis de Pesquisa	81
5 MÉTODO DE PESQUISA	83
5.1 Estratégia e Abordagem de Pesquisa.....	84
5.2 Modelo Conceitual	85
5.3 Proposições	85
5.4 Objetos de Estudo	86
5.5 Características dos Casos Estudados.....	86
5.6 Métodos de Coleta dos Dados	86
6. PESQUISA DE CAMPO	87
6.1 Empresa A - Indústria Química	87
6.1.1 Dimensão Estatística	89
6.1.2 Dimensões Técnicas e Metodológicas	91
6.1.3 Sociológica e Gerencial.....	94
6.1.4 Viabilidade da aplicação da análise multivariada na empresa A	96
6.2 Empresa B: - Indústria de Auto Peças	98
6.2.1 Dimensão Estatística	100
6.2.2 Dimensão Técnica e Metodológica.....	103

6.2.3 Dimensão Sociológica e Gerencial	107
6.2.4 Viabilidade da Aplicação das MDAs na Empresa B.....	110
6.3 Empresa C: - Indústria de Auto Peças	111
6.3.1 Dimensão Estatística	113
6.3.2 Dimensão Técnica e Metodológica.....	114
6.3.3 Dimensão Sociológica e Gerencial	117
6.3.4 Viabilidade da Aplicação das MDAs na Empresa C.....	118
6.4 Análise dos Casos Estudados	119
6.4.1 Dimensão Estatística	121
6.4.2 Dimensão Técnica e Metodológica.....	122
6.4.3 Sociológica e Gerencial.....	125
6.4.4 Viabilidade da Aplicação da Análise Multivariada	127
7 CONCLUSÃO.....	129
APÊNDICE A - Questionário.....	138

1 INTRODUÇÃO

Sendo considerada uma extensão dos métodos univariados, as técnicas de Análise Multivariada de Dados (MDAs) é um termo utilizado para referir-se a todos os métodos estatísticos que analisam simultaneamente cada objeto ou indivíduo sob investigação. As MDAs envolvem a divisão, identificação e avaliação da variação do conjunto de variáveis entre elas mesmas e estabelece a relação entre as variáveis dependentes e independentes (JOBSON, 1992; YANG, 2004; YANG e TREWN, 2004; MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010). De maneira geral, a utilização destas técnicas tem como objetivo aperfeiçoar, gerar conhecimento sobre como determinado fenômeno se manifesta além de possibilitar a classificação de observações, simplificação de dados, dentre outras aplicações (YANG, 2004, FÁVERO *et. al.*, 2009, HAIR *et. al.*, 2010).

Historicamente, observam-se em relatos obtidos na literatura que a aplicação das MDAs está relacionada a diversas áreas do conhecimento, tais como psicologia, gestão de pessoas, enfermagem, economia, setor aeroespacial, química e automobilística dentre outras. Isso demonstra a versatilidade da aplicação deste conjunto de técnicas com objetivos específicos distintos (JOBSON, 1992; GARCIA, 1995; YANG, 2004, MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010).

No contexto da gestão da qualidade, a utilização dos primeiros métodos multivariados ocorreu na busca pelo controle e monitoramento dos processos de manufatura, bem como na fase de desenvolvimento de produtos. Atualmente, muitos desses métodos desempenham papéis de ferramentas para a melhoria da qualidade (ZHENG *et. al.*, 2001; CHAMPAGNE e DUDZIC, 2002; YANG, 2004; YANG e TREWN, 2004; COSTA *et. al.*, 2009; PEREIRA *et. al.*, 2009; COSTA *et. al.*, 2010; MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011).

As aplicações das MDAs com o objetivo de alcançar melhores níveis de satisfação das necessidades dos clientes e redução dos custos produtivos, por serem mais robustas, apresentam-se como um novo recurso para a obtenção de resultados significativos nos projetos de melhoria e inovação contínua, utilizados especificamente na abordagem Seis Sigma (PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; BRUE, 2002; YANG e TREWN, 2004; YANG, 2004; COX; GAUDARD; GOLDSBY e MARTICHENKO, 2005; MAKRYMICHALOS *et. al.*, 2005; YUE; WANG, 2008; RAMSEY, 2009; ALBEANU; HUNTER; RADFORD, 2010).

Visto que a literatura apresenta vantagens em relação às técnicas univariadas, a pergunta que se tenta responder neste trabalho é quais as dificuldades e gargalos enfrentados por empresas instaladas no Brasil no uso com sucesso das MDAs.

Firka (2011) analisou algumas dimensões que afetam o sucesso da implantação de técnicas de experimentos planejados, cujos fatores também podem ser correlacionados à aplicação das MDAs. Segundo este mesmo autor há três dimensões que afetam o sucesso do uso efetivo de técnicas estatísticas: i) a dimensão estatística; ii) a dimensão metodológica; iii) a dimensão sociológica e gerencial.

A dimensão estatística envolve aspectos relacionados aos pressupostos assumidos quando da utilização de determinado modelo ou técnica. Em muitos casos esses pressupostos são negligenciados ou ignorados pelos praticantes, o que pode gerar equívocos sobre as conclusões das análises. Por outro lado, determinadas técnicas possuem pressuposto que é distante de muitas situações práticas, o que dificulta sua utilização (CHAMPAGNE e DUDZIC, 2002; HAIR *et. al.*, 2010; MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011).

Dos pontos de vista metodológico e sociológico/gerencial há um conjunto significativo de variáveis que comprometem também a aplicação de técnicas estatísticas, por exemplo, a falta de validação do modelo conceitual (HAIR *et.al.*, 2010). Do ponto de vista gerencial, a falta de treinamento e suporte pode ser considerada um fator tão crítico quanto os relacionados à dimensão estatística e metodológica (CHAMPAGNE e DUDZIC, 2002; YANG e TREWN, 2004; MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011).

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: no Capítulo 2 é feita uma revisão teórica sobre a melhoria da qualidade. O Capítulo 3 apresenta uma revisão sobre os principais métodos estatísticos univariados para a melhoria da qualidade. O Capítulo 4 apresenta algumas técnicas estatísticas multivariadas que podem ser utilizadas para a melhoria da qualidade. No capítulo 5 pode ser observado às proposições desta pesquisa e informações referentes à condução deste trabalho. O Capítulo 6 apresenta os casos e o último capítulo apresenta as conclusões.

1.1 Objetivo

Esta dissertação tem como objetivo geral identificar, a partir das dimensões apontadas no referencial teórico, os fatores críticos para o sucesso ou uso das MDAs como ferramenta de suporte às atividades de melhoria. Desta forma, os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) levantar na literatura os fatores críticos para a aplicação das MDAs em projetos de melhoria;
- b) apontar a necessidade de aplicação das MDAs nas empresas estudadas;
- c) verificar como as empresas lidam com estes fatores críticos em seus projetos Seis Sigma;
- d) verificar se a abordagem para melhoria da qualidade Seis Sigma apresenta uma estrutura que facilita a aplicação das MDAS.

1.2 Justificativa

Do ponto de vista acadêmico e empresarial os objetivos deste trabalho se justificam, pois a literatura aponta para a necessidade de aplicar estas técnicas como ferramentas para a melhoria da qualidade em projetos Seis Sigma. Pesquisas recentes revelam que estas técnicas são subutilizadas pelas empresas e sua utilização ainda ser pouco difundida, além de poucos trabalhos acadêmicos demonstrarem a aplicação, condução e exemplos do uso destas técnicas em projetos de melhorias voltados para a manufatura. Desta forma, este trabalho corrobora para compreender quais são os reais motivadores da subutilizam destas técnicas pelas empresas, além de corroborar para a difusão destas técnica em projetos de melhoria. Para satisfazer a esses objetivos, o objeto de análise serão as empresas que desenvolvem projetos de melhoria Seis Sigma.

2 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS COMO SUPORTE PARA A MELHORIA CONTÍNUA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura com o objetivo de demonstrar as aplicações das técnicas estatísticas como ferramentas para a melhoria da qualidade, e enfatizar e estabelecer a relação entre as MDAs e a melhoria da qualidade.

2.1 Introdução

Atualmente, para muitas organizações existe uma demanda emergente por diferentes ferramentas e métodos para a melhoria da qualidade, devido à necessidade constante por menores níveis de defeitos e erros; ênfase na redução de custos e tempo de desenvolvimento, além do respeito às necessidades dos clientes. Slack, Chambers e Johnston (2002) afirmam que todas as operações podem ser melhoradas, sendo papel dos gerentes realizarem as melhorias. Por outro lado isso não significa que a melhoria tem um único responsável. Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) destacam a importância do comprometimento de todos os níveis da organização com a melhoria da qualidade.

A gestão da qualidade envolve um conjunto de atividades que visam garantir que os produtos e serviços reúnam as condições necessárias para a satisfação dos clientes e que estas características sejam melhoradas de maneira contínua devido ao dinamismo do ambiente organizacional provocado principalmente pela ação dos concorrentes e exigência dos clientes. Esta constante necessidade de evolução pode ser exemplificada pelo pensamento corrente relacionada à gestão da qualidade no início do século XX. Neste período histórico os acontecimentos eram baseados no determinismo, isto é, uma crença generalizada de que os fenômenos são verdades absolutas.

Nesta época a variabilidade e a estatística eram consideradas como irrelevantes para a melhoria da qualidade. Desde então os métodos estatísticos para controle e melhoria da qualidade tem apresentado grandes avanços tornando-se imprescindíveis para lidar com situações complexas como é apresentada nos problemas atuais vivenciado por muitas organizações (JURAN e GODFREY, 1999; YANG, 2004; MONTGOMERY, 2010).

Desta forma, o controle e a melhoria da qualidade avançaram no sentido de acompanhar as necessidades do mercado apresentando diferentes abordagens e agregando inúmeras ferramentas (JURAN e GODFREY, 1999; ECKES, 2001; MONTGOMERY, 2010). Surge na segunda metade do século XX o Pensamento Estatístico como uma filosofia de aprendizagem baseado no princípio de que a melhoria da qualidade é fruto da redução da

variabilidade dos processos produtivos (MAKRYMICHALOS, 2005). O Pensamento Estatístico é um processo que reconhece a existência das variações, em todas as operações, com três princípios básicos i): todo trabalho ocorre em um processo interconectado ii) as variações existem em todos os processos iii) entender tais variações é a chave para o sucesso. Portanto, identificar, caracterizar, controlar, e principalmente reduzir tais variações, representa uma grande oportunidade para melhoria da qualidade nos problemas atuais (MAKRYMICHALOS, 2005).

A diferença entre itens produzidos em um mesmo processo é definida como variações, que podem ser classificadas como variações de causas comuns e assinaláveis. Variações devido às causas comuns representam uma pequena variação no processo causada por vários fatores. Por esta razão sua identificação é difícil, já que depende muitas vezes de estabelecer relação entre diversas variáveis que isoladamente não são representativas (JURAN e GODFREY, 1999; MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2004).

As variações representadas por causas assinaláveis são compostas por poucas variáveis que representam uma mudança brusca no comportamento do processo produtivo. Sendo assim sempre que o processo está sob a ação destas causas é relativamente fácil identificá-las, não exigindo um conhecimento avançado em ferramental estatístico para eliminá-las (JURAN e GODFREY, 1999; MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2004).

As variações causadas por causas comuns atuam de maneira silenciosa e muitas vezes passam despercebidas por um longo período de tempo, elevando os custos com a não-qualidade para a organização. Portanto, representam as maiores oportunidades de melhoria nos processos produtivos. Em termos de dispêndio com a não-qualidade as causas comuns são mais significativas que as causas assinaláveis, pois esta última é teoricamente mais fácil de serem identificadas e solucionadas. A identificação das causas de variações nos processos pode acontecer de três formas distintas: controle de processo; melhoria reativa e melhoria proativa (SHIBA; GRAHAM e WALDEN, 1997).

O controle de processo é considerado uma forma de melhoria, pois quando o processo está sendo acompanhado, é possível visualizar graficamente a atuação das causas comuns e assinaláveis de variação, e assim intervir para alcançar a estabilidade do processo. Geralmente as empresas que se utilizam majoritariamente desta forma, de melhoria apenas resolvem problemas de causa assinaláveis. Entretanto, o controle é peça fundamental dentro do processo de melhoria, pois além de observar a atuação das causas assinaláveis é possível verificar a estabilidade do processo produtivo (SHIBA; GRAHAM e WALDEN, 1997).

Em termos de complexidade, a melhoria reativa é considerada uma forma de melhoria intermediária que envolve certos conhecimentos sobre redução de variabilidade, além do envolvimento maior das pessoas de nível tático e operacional para propor melhorias. Como o próprio nome sugere, consiste em uma forma de reagir a uma necessidade de mudança, tais como a necessidade de redução dos custos produtivos e a busca para alcançar níveis próximos aos concorrentes diretos. A concentração nesta forma de melhoria é característica de organizações que buscam resolver problemas relacionados a causas assinaláveis e desenvolver mecanismos de aprendizado para diminuir a ocorrência de problemas. Neste contexto observa-se a necessidade do uso de ferramentas estatísticas e o uso de abordagem metodológica de melhoria.

O terceiro tipo de melhoria exposta por Shiba, Graham e Walden (1997) aborda um tipo de progresso mais complexo: a melhoria proativa, que busca antever os problemas. Esse tipo de melhoria tem como características um fluxo de informações *top-down*, é caracterizado pela concentração de um número reduzido de pessoas que participam do processo de melhoria, pois exige um conhecimento maior em ferramentas estatísticas e gerenciais. Esta forma de melhoria faz parte da particularidade de organizações com um nível de maturidade elevado em melhoria que já passaram pelas fases de eliminação das causas assinaláveis e estão na busca pela excelência operacional. Neste caso é necessário aplicar técnicas estatísticas mais complexas, tais como as MDAs, pois a identificação das causas de variação no processo produtivo é difícil de serem identificados pelos métodos tradicionais (SHIBA; GRAHAM e WALDEN, 1997; YANG e TREWN, 2004).

Pode-se afirmar que a existência da necessidade de melhoria se relaciona com as necessidades, imposta pelos clientes e seus concorrentes. Desta forma, as organizações buscam utilizar as diferentes abordagens para a melhoria da qualidade para balizar o processo de mudança de acordo com seu objetivo estratégico. Estas abordagens representam caminhos diferentes para lidar com as questões da variabilidade e promover a melhoria.

Dentre as abordagens mais utilizadas destacam-se, por exemplo: a Gestão da Qualidade Total (TQM), Seis Sigma; *Lean Manufacture*, *Lean-sigma*, Kaizen, Teoria das Restrições (TOC), dentre outras. Muitas vezes é recomendável à organização utilizar uma abordagem de melhoria mista que contemple seus diferentes objetivos, pois não existe uma abordagem que seja completa. Como a seleção das abordagens de melhoria está relacionada ao fator competitividade, as empresas devem estar sempre atentas: i) aos movimentos de seus concorrentes, e ii) à necessidade de seus clientes, (SCHUMPETER, 1988; JURAN e GODFREY, 1999; JORGENSEN; BOER e GERTSEN, 2003).

2.2 Conceitos Básicos da Melhoria Contínua

A Melhoria Contínua (MC) para os japoneses é uma filosofia de busca permanente pela satisfação das partes envolvidas no negócio, por meio do uso de princípios, métodos e técnicas, suportada por uma cultura de valorização de um número maior de melhorias incrementais, favorecendo adaptações acumulativas no sistema, no longo prazo, de produtividade e qualidade dos processos (JHA; MOORI e MICHELA, 1995; IMAI, 1997; BHUIYN; BAGHEL, 2005; EHIGIE; MCANDREW, 2005; TORNESSEN, 2005).

No Brasil, a MC teve suas raízes na difusão do modelo do *Total Quality Control* (TQC) estilo Japonês, na década de 1980, iniciado nas empresas por meio dos Círculos de Controle da Qualidade (CCQs). Sua implantação foi motivada pelo sucesso e destaque internacional dos produtos e da gestão das empresas Japonesas. Neste contexto, a abertura de mercado incentivou as organizações nacionais à inovarem para atender as expectativas de seus clientes por meio de melhorias em seus produtos e processos (TOLEDO, 1987).

A diferença entre MC e inovação é tratada por vários autores. Bessant e Caffyn (1997) argumentam que algumas pessoas consideram a MC como inovação, outras consideram como uma busca sustentável e incremental pela redução de desperdícios. Já para Projogo e Sohal (2001) as inovações podem ser classificadas em dois grandes grupos. O primeiro é referente à inovação radical, que apresenta uma característica de mudança muito mais abrupta. O segundo tipo, chamada de inovação incremental, é uma forma mais branda de mudança, nas quais as mudanças menores apresentam características próprias da melhoria. De modo próximo à definição anterior, porém com maior ênfase na gestão, Gates e Cooksey (1998) definem inovação como um processo criativo, metodológico para implementar, organizar e difundir novas idéias intra-empresa com o objetivo de criar resultados melhores.

Neste sentido Imai (1997) diferencia as pequenas melhorias, as incrementais, dos grandes saltos de melhoria, sendo que a melhoria foca as atividades de grupos nos locais de trabalho, denominada de Círculos de Controle da Qualidade (CCQ), e a inovação é de responsabilidade da administração, cujos projetos de incorporação de elementos novos para a empresa são mais complexos e envolvem grandes investimentos.

As organizações que são capazes de conduzir projetos de melhoria e inovação de maneira eficiente, buscando desenvolver a vantagens competitivas no longo prazo, são consideradas como organizações ambidestras (GIBSON e BIRKINSHA, 2004). As organizações devem ser capazes de conduzir projetos de pequeno porte, bem como estar

atentas à necessidade de realizar projetos complexos e sofisticados de maneira contínua e simultânea. Desta forma, devido às limitações principalmente financeiras, geralmente ocorre uma competição por recursos entre projetos de melhorias e inovações. Isto necessariamente precisa ser gerenciado para minimizar os efeitos negativos decorrentes e para que no longo prazo seja possível alcançar melhores resultados (GIBSON e BIRKINSHA, 2004; SCHROEDER *et. al.*, 2008).

A abordagem Seis Sigma para melhoria, devido a sua estrutura organizacional, facilita o desenvolvimento da ambidestrezza (SCHROEDER *et. al.*, 2008; DIBRELL; DAVIS e CRAIG, 2008). Neste sentido, deve existir uma forte integração entre as partes que compõe o processo de MC, caso contrário a implantação e a manutenção isolada de qualquer iniciativa ou abordagem estruturada de melhoria dissiparão recursos humanos e financeiros, além de acarretar no descrédito dos programas de melhoria por parte dos envolvidos (OPRIME; MENDES e PIMENTA, 2011; OPRIME; SORIANO e DONADONE, 2011; SORIANO *et. al.*, 2011a). Bessant e Caffyn (1997) apresentam uma estrutura compostas por oito habilidades necessárias para uma efetiva condução dos esforços de melhoria e inovação. Atrelada às habilidades, estão os comportamentos correspondentes a um código de conduta que a organização deve seguir e reforçar de maneira evolucionária para que possam ser obtidos melhores resultados. O Quadro 2.1 mostra o conjunto de habilidades e comportamentos para a melhoria contínua.

Quadro 2.1 — Conjunto de Habilidades e Comportamentos para a Melhoria Contínua

Habilidades	Comportamentos
Entendendo a MC	Pessoas de todos os níveis acreditam no valor da MC. As Pessoas encontram as razões e não culpados As pessoas fazem uso de um ciclo formal de identificação e resolução de problemas.
Adquirindo o hábito da MC	Pessoas utilizam ferramentas e técnicas adequadas para apoiar a MC As pessoas avaliam as melhorias do processo As pessoas participam dos processos (individualmente ou em grupos) desenvolvendo atividades de MC As idéias são respondidas claramente em um prazo aceitável
Focando na MC	Os projetos de melhoria são elaborados a partir dos objetivos estratégicos da empresa Os resultados são medidos e monitorados Os projetos de melhoria podem ser alterados antes da implantação das melhorias As atividades de melhoria são parte integral do trabalho
Caminho liderado pela MC	A gerência apóia e provê recursos necessários para as atividades de MC Reconhecimento formal da contribuição dos colaboradores a partir das atividades de MC A gerência encoraja a experimentação não punindo os erros, mas o aprendizado por meio destes
Alinhando a MC	Avaliação contínua apoiar e reforça a estrutura da organização e a infra-estrutura da MC Os indivíduos ou grupos responsáveis pela concepção do projeto de MC o ajustam para caber dentro da atual estrutura e infra-estrutura São realizadas avaliações contínuas na estrutura da MC para que este esteja de acordo como os processos Pessoas com responsabilidade pelo sistema de MC asseguram que quando uma mudança maior está prevista seu potencial impacto sobre o sistema de MC é avaliada e os ajustes são feita, se necessário
Compartilhar a resolução de problemas	As pessoas entendem e compartilham uma visão holística As pessoas são orientadas para os clientes internos e externos em suas atividades MC Projetos específicos de MC estão ocorrendo com agências externas - clientes, fornecedores, etc
Melhorando continuamente a MC	O sistema de MC é continuamente monitorado e desenvolvido O sistema de MC é regularmente revisto e, se necessário É disponibilizado recursos suficientes (tempo, dinheiro e pessoal) para apoiar o desenvolvimento contínuo do sistema de MC
Aprendizado organizacional	As pessoas aprendem com suas experiências, tanto positivas quanto negativas Os indivíduos buscam oportunidades de aprendizagem e desenvolvimento pessoais Os indivíduos e grupos em todas as partes níveis disponibilizam a sua aprendizagem de toda a obra experiências A organização articula e consolida a aprendizagem de indivíduos e grupos Quando necessário os gerentes, agem em toda a aprendizagem que ocorre Indivíduo utilizar os mecanismos de organização para implantar a aprendizagem que é capturada em toda a organização

Fonte: BESSANT; CAFFYN, 1997

A capacidade comportamental do Quadro 2.2 constitui uma importante base de recursos para a empresa, que podem ser empregadas em busca de grandes variedades de objetivos estratégicos como a redução de custos, melhoria de qualidade, uma resposta mais

rápida às necessidades do mercado, etc. No entanto, o processo acumulativo de tal recurso é longo e difícil, já que envolve a articulação da aprendizagem dos comportamentos e seus reforços até que se tornem rotina (BESSANT e CAFFYN 1997; BESSANT; CAFFYN; GALLAGHER, 2001). A necessidade de desenvolver habilidades organizacionais para a MC consiste em adotar uma estrutura de reconhecimento e valorização do comprometimento dos envolvidos como a melhoria, bem como de habilidades comportamentais, do compromisso com metas, e adoção de meios facilitadores (BESSANT E CAFFYN 1997; BESSANT; CAFFYN; GALLAGHER, 2001; OPRIME; MENDES e PIMENTA, 2011; OPRIME; SORIANO e DONADONE, 2011; SORIANO *et. al.*, 2011b).

Deste modo, os comportamentos devem ser constituídos, desenvolvidos e reforçados ao longo do tempo de maneira evolucionária. Esses trazem vantagem competitiva para a organização, pois são difíceis de serem copiados. Tais habilidades somadas às práticas e às experiências conduzem ao aprendizado organizacional e com isso, à evolução da maturidade da prática de MC (OPRIME; MENDES e PIMENTA, 2011; OPRIME; SORIANO e DONADONE, 2011; SORIANO *et. al.*, 2011a). Segundo Bessant e Caffyn (1997) para a empresa evoluir de um determinado nível de maturidade, conforme demonstrado no Quadro 2.2 é necessário criar maturidade em habilidades e capacitações específicas e também adicionar novos comportamentos e, por conseguinte, novas habilidades na empresa.

Quadro 2.2 — Níveis de Maturidade em MC

Níveis de Maturidade	Padrões de Características Comportamentais
NÍVEL 1	Apenas os problemas casuais são resolvidos; Não existe estrutura formal de melhoria; foco em projetos de curto prazo; Sem impacto estratégico; A gerência está insensibilizada com para a MC.
NÍVEL 2	Inicia o ingresso da organização na MC; Utilização de processos estruturados para solução de problemas; Grande percentual de participação dos colaboradores nas atividades de MC; Colaboradores são treinados nas ferramentas básicas de MC; Sistema de reconhecimento e gerenciamento das idéias; Atividades de MC não fazem parte do dia-a-dia.
NÍVEL 3	Tudo o que está descrito nos níveis anteriores adicionando: Estabelecimento formal dos objetivos estratégicos; Monitoramento e medição das atividades de MC, Foco em projetos de longo prazo.
NÍVEL 4	Considera o descrito nos níveis anteriores adicionando: as responsabilidades de MC são delegadas aos colaboradores para solução de problemas; Alto nível de experimentação.
NÍVEL 5	Adiciona-se ao descrito nos níveis anteriores: aprendizado comportamental disseminado; sistemática de identificação e solução de problemas além do proveito e partilha do aprendizado; Experimentações difundidas.

Fonte: BESSANT, CAFFYN, 1997

2.3 Sistema de Informação para a MC

Autores como Liyanage e Poon (2003) enfatizam a necessidade da gestão do conhecimento por meio do fluxo de informações (comunicação organizacional). Isto demanda dos gestores habilidades para compreender a importância estratégica da comunicação dentro das organizações. Neste sentido Holm (2006) identifica alguns fatores relacionados ao processo de comunicação dentro de organizações, na qual a filosofia deve enfatizar o fluxo total de pensamentos, pois as expectativas das tendências de competitividade demandam comunicação mais rápida e efetiva entre os envolvidos. Assim, é importante considerar que a melhor fonte para o processo de redução da variabilidade são as pessoas que convivem diretamente com o problema. Apesar de terem a noção do problema, a falta de estrutura e comunicação adequada dificulta o desenvolvimento das melhorias e inovações (SHINGO e FARIA, 2010).

Lam (2005) demonstra a importância de uma estrutura organizacional que facilite a troca de informações. Para a autora, um modelo estruturado ou organizado no qual se concentra o conhecimento tem como desvantagem a falta de integração entre os

departamentos, o que reduz a capacidade de se realizar melhorias. Além de problemas relacionados ao fluxo de informações, muitas organizações se deparam com um grande volume de dados disponíveis que acabam sendo utilizado de maneira ineficiente, pois muitas vezes falta conhecimento para lidar com esta situação (DIBRELL; DAVIS e CRAIG, 2008, MANYIKA *et. al.*, 2011). Como resultado, parte dos dados disponíveis é ignorada ou subutilizada. Isto significa que uma quantidade representativa das informações residente nos dados e seus potenciais conhecimentos derivados destas informações ficam desconhecidos (YANG, 2004). A revolução do sistema de gerenciamento de dados está na habilidade para lidar com a tecnologia da informação no desenvolvimento de canais de comunicação que facilitem o fluxo de informação ao longo da cadeia produtiva (SIVIY; PENN e HARPER, 2005, MANYIKA *et. al.*, 2011).

O sistema de informação oferece um caminho para as organizações utilizarem seus dados para gerar informações e posteriormente conhecimento. Os dados são quaisquer elementos identificados em sua forma bruta e que por si só não conduzem a uma compreensão de determinado fato ou situação. A organização e análise destes dados por meio de cálculos, comparações, resumos e classificação objetiva uma forma de disposição mais significativa e define uma forma de informação (SLACK; CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). O sistema de informação pode promover a aprendizagem organizacional capturando, codificando e distribuindo tanto o conhecimento explícito quanto o tácito (FERREIRA; PONTES e ALVES, 2005; ALMEIDA. *et. al.*, 2006; LU; KUO e LEE, 2010).

Embora estudos tenham estabelecido evidências do impacto dos investimentos em tecnologia da informação no desempenho e produtividade das organizações, há também um ceticismo considerável em relação ao investimento nesta tecnologia e seu impacto na competitividade. Desta forma, o grande potencial do uso apropriado das informações está na maneira que estes dados são analisados e transformados em informações uteis para o processo de melhoria e inovação (SIVIY; PENN e HARPER, 2005; LU; KUO e LEE, 2010).

Portanto, investimentos realizados em infra-estrutura de tecnologia da informação são pouco explorados como fonte de melhoria, pois além da dificuldade de fluxo muitas vezes as organizações sofrem com as características da qualidade dos dados além da dificuldade em analisar um grande volume de informações (NEHMY e PAIM, 1998; CHAMPAGNE; DUDZIC, 2002; YANG, 2004; LU; KUO e LEE, 2010). O Quadro 2.3 apresenta algumas características de qualidade dos dados.

Quadro 2 3 — Qualidade da Informação

Características das Informações	Definição
Exatidão	Representa ao grau com que o dado corresponde à realidade.
Precisão	Corresponde ao grau de variação de uma medição em relação a mudanças sutis na variável
Confiabilidade	Representa o grau com que a informação mantém sua qualidade ao longo do tempo.
Integridade	Significa que conjunto de dados não pode ser alterado; e caso seja deve ser claramente comunicada as mudanças
Concisão	Corresponde à clareza da informação; os dados são de fácil entendimento quanto a seu desígnio
Relevância	Os dados disponíveis são significativos para o processo de melhoria
Compressibilidade	Os dados podem ser resumidos representando um período específico
Significado	O dado em si traz sua definição
Disponibilidade	É a facilidade do acesso, da localização e conseqüente disseminação da informação quando necessária
Formato	Os dados estão organizados de maneira que possam ser utilizados facilmente.
Comparabilidade	Refere-se à capacidade de ser possível, ao longo de uma série histórica, verificar as diferenças no comportamento da variável.

Fonte: NEHMY, PAIM, 1998; LU; KUO e LEE, 2010

Os métodos estatísticos são capazes de apoiar o processo de melhoria, pois permitem a transformação dos dados em informação e assim gerar conhecimento altamente significativo. Estes métodos devem ser eficientes para lidar com a questão da complexidade devido ao grande volume de dados e suas correlações. Neste sentido, as MDAs podem ser utilizadas como um mecanismo de redução de dados nos quais seja possível identificar relações que seriam difíceis de serem observada por métodos tradicionais (MILETIC, 2004; HAIR *et. al.*, 2010; FIRKA, 2011; MANYIKA *et. al.*, 2011).

2.4 A Abordagem do Controle Estatístico de Processo Para a Melhoria e Inovação

Contínua

As últimas décadas testemunharam uma crescente tendência de melhora na eficácia de controle de qualidade em processos operacionais pela adoção formal de conceitos, métodos e ferramentas estatísticas e tecnologia computacional. Os métodos estatísticos, tanto os uni como os multivariados, tem um papel crítico para o sucesso dos projetos de melhoria, pois na medida em que se obtém redução na variabilidade dos processos ao longo do tempo, torna-se cada vez mais difícil identificar fontes de variações, incluindo os efeitos das interações entre variáveis, sem o auxílio de uma abordagem e de ferramentas estatísticas

apropriadas (JOBSON, 1992; JURAN e GODFREY, 1999; ECKES, 2001; MITRA, 2004; HAIR *et. al.*, 2010; MONTGOMERY, 2010).

Para Montgomery (2004) o Controle Estatístico de Processo (CEP) não se trata somente da aplicação de algumas técnicas estatísticas utilizadas na identificação das causas variabilidade, mas sim de um conjunto de ferramentas focadas no controle de qualidade que corretamente aplicada propicia a efetiva melhoria da qualidade, fornecendo uma base de recursos sólidos para a redução da variabilidade nos processos produtivos. O CEP é entendido como uma filosofia de gerenciamento, que consiste em um conjunto de técnicas e habilidades que devem ser amplamente utilizadas em todos os tipos de processos produtivos (MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2004; 2010).

As técnicas estatísticas são ferramentas essenciais para o controle e melhoria da qualidade por meio da resolução de problemas, desde que aplicadas como parte do sistema gerencial de forma eficiente. Montgomery e Runger (2003) complementam que a simples utilização das técnicas não garante os resultados. Os autores ainda ressaltam a importância de alguns fatores como determinantes para o efetivo da aplicação das técnicas, tais como:

- a) liderança de gestão;
- b) uma abordagem de equipe;
- c) treinamento dos trabalhadores de todos os níveis;
- d) ênfase na MC;
- e) um mecanismo de reconhecimento de sucesso;
- f) tomar decisões baseado em fatos, ou seja, diferenciar as causas dos efeitos;
- g) reconhecer a existência de variabilidade;
- h) planejar futura aplicação do CEP;
- i) agilidade na identificação e resolução de problemas.

Os fatores acima expostos quando bem empregados favorecem os processo de acúmulo das melhorias. À medida que o processo torna-se estável por meio da introdução de consecutivas melhorias, a atuação nas causas assinaláveis diminui, atingindo o regime de estabilidade do processo. Desta forma, torna-se complexo a identificação das causas de variação do processo. Segundo Mitra (2004) nesse momento há necessidade do uso de técnicas estatísticas avançadas com o objetivo de reduzir os efeitos da variabilidade.

Neste sentido, o conjunto de técnicas descritas na literatura como MDAs podem contribuir para o fortalecimento das bases estatísticas para a o desenvolvimento das melhorias e inovações (YANG, 2004; SCHROEDER *et. al.*, 2008). Os métodos multivariados desempenham importantes funções dentro do CEP. Métodos como *Design of Experiments*

(DOE), análise de variância e análise de regressão, estão entre as mais importantes ferramentas relacionadas à abordagem Seis Sigma e suas aplicações tem contribuído para melhoria da qualidade e a rentabilidade de muitas organizações ao redor do mundo (LARSON, 2003; YANG; TREWN, 2004; YANG, 2004; FIRKA, 2010).

2.5 O Seis Sigma e a Melhoria da Qualidade e Inovação Contínua

O aspecto fundamental do Seis Sigma consiste na identificação das características críticas para a satisfação dos clientes e seu diferencial está na estrutura organizacional envolvida com o processo de melhoria (SCHROEDER *et. al.*, 2008). Na visão de Mehjerdi (2011) o Seis Sigma é uma estrutura de integração de várias ferramentas estatísticas com objetivo de buscar a melhoria da qualidade por meio de um método sistemático para a resolução de problemas conhecido como DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar). Sua implantação deve seguir três fases: o primeiro e mais importante é mudar a cultura organizacional para o foco no cliente, a segunda fase é trabalhar com suas fraquezas e oportunidades, a última fase é utilizar métodos para resolução de problemas apenas em problemas persistentes (AL-MISHARI; SULIMAN, 2008).

A aplicação desta abordagem deve ocorrer apenas em problemas persistentes; devido a limitações nos recursos disponíveis, já que problemas pouco complexos podem ser resolvidos por outros meios e pelos próprios envolvidos no processo. Desta forma, ficam para a equipe treinada nesta abordagem os problemas complexos que exigem uma quantidade maior de investimentos, além de um conhecimento elevado em ferramentas sofisticadas para melhoria (ECKES, 2001; PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; ANTONY E BANUELAS, 2002; ROTONDARO, 2002; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2003; MAKRYMICHALOS *et. al.*, 2005).

Apesar destas características marcantes é possível ainda encontrar na literatura quatro correntes de pensamento sobre a definição desta abordagem que demonstram a diversidade de entendimentos sobre o assunto (SCHROEDER *et. al.*, 2008; TIAHJONO *et. al.*, 2010), a saber:

- a) a primeira linha de pensamento define o Seis Sigma como sendo um conjunto de ferramentas estatísticas guiadas pelo gerenciamento da qualidade, nos quais se busca diminuir a variabilidade do processo. Desta forma, não é reconhecido como um sistema gerencial e sim um método de resolução de problemas;

- b) a segunda linha de pensamento define o Seis Sigma como uma filosofia gerencial extensível a toda a cadeia de suprimento que busca compartilhar os benefícios entre todos os envolvidos com o processo produtivo, fornecedores, clientes e principalmente a satisfação dos consumidores;
- c) a terceira linha de pensamento refere-se ao Seis Sigma como uma cultura de processo. Desta forma, os autores destacam o valor do envolvimento das pessoas com a qualidade e acrescentam seu sucesso não se deve apenas ao uso das técnicas estatísticas;
- d) a quarta linha de pensamento refere-se ao Seis Sigma como uma extensão das iniciativas para a melhoria da qualidade como o TQM (*Total quality management*). Este fato é devido às características semelhantes como ênfase na satisfação dos clientes; a utilização bem estruturada dos mecanismos para a melhoria da qualidade e a eliminação dos desperdícios por meio da utilização de ferramentas científicas e técnicas gerenciais. De fato, as ferramentas utilizadas no TQM são típicas dos projetos Seis Sigmas. Ainda por estas razões recebem críticas que ressaltam o pouco avanço no método de resolução de problemas (WERKEMA, 2002; SCHROEDER *et. al.*, 2008; SANTOS e MARTINS, 2010).

Algumas características diferenciam o Seis Sigma do TQM. Primeiro, o Seis Sigma é orientada para os resultados e deixa evidente o impacto financeiro no negócio, pois o projeto somente será aprovado após uma análise de viabilidade técnica e financeira. Segundo, por meio do DMAIC, apresenta uma forte ênfase no uso em ferramentas estatísticas mais sofisticadas como as MDAs relacionadas a cada fase do projeto de resolução de problemas. A terceira característica refere-se ao envolvimento direto das pessoas com a melhoria da qualidade, pois as pessoas envolvidas dedicam grande parte do seu tempo ao escritório de projetos. Finalmente, o Seis Sigma cria uma poderosa infra-estrutura para a formação e treinamento da equipe em melhoria (GOH, 2002; CORONADO e ANTONY, 2002; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2003; KUMAR, 2007; SCHROEDER *et. al.*, 2008; SANTOS e MARTINS, 2010).

O Seis Sigma surgiu na década de 80 baseado no princípio da redução da variabilidade descrito por Deming, pois segundo alguns autores a qualidade é fruto da redução da variabilidade dos processos produtivos e pode ser alcançada por meio da aplicação de ferramentas estatísticas (GOH, 2002; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2003; MAKRYMICHALOS, 2005; MONTGOMERY, 2010).

Segundo Antony e Banuelas (2002) a empresa Motorola foi pioneira no desenvolvimento e implantação do Seis Sigma. A utilização desta abordagem apresentou vantagens como o incremento na produtividade e lucratividades devido à redução dos desperdícios via custos da não qualidade, associados a uma maior satisfação dos clientes. Posteriormente, esta abordagem foi difundida para outras grandes empresas manufatureiras de grande porte como a IBM e a GE. Desde a década de 80 esta abordagem ganha notoriedade e desperta o interesse das mais diferentes organizações (PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; ANTONY E BANUELAS, 2002, 2004). Atualmente existem inúmeros exemplos de aplicação bem sucedidos em organizações de diferentes portes e setores de atividade econômica (ECKES, 2001; SCHROEDER *et. al.*, 2008).

No Brasil, os primeiros casos de adoção bem sucedida do Seis Sigma aconteceram nas indústrias automobilísticas de grande porte do estado de São Paulo. O primeiro caso brasileiro de sucesso na aplicação do Seis Sigma deu-se no ano de 1997 no grupo Brasmotor, que em apenas dois anos após a implantação registrava ganhos financeiros na ordem 20 milhões. Atualmente, existem diversos casos nacionais de sucesso em diversos segmentos da indústria e prestação de serviços, com expectativa de expansão, tanto no que se refere a setores de atividade econômica como em número de organizações (WERKEMA, 2002; PINTO; CARVALHO e HO, 2006; SCHROEDER *et. al.*, 2008).

Os diversos projetos Seis Sigma bem sucedidos ressaltam o crescente interesse das organizações por melhores níveis de satisfação de seus clientes e a busca constante pela melhoria da qualidade via utilização desta abordagem. Baseado na literatura observa-se que o diferencial desta abordagem está na utilização das ferramentas estatísticas integradas aos objetivos estratégicos da organização (PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; ECKES, 2001; ANTONY E BANUELAS, 2002; ROTONDARO, 2002; WERKEMA, 2002; PINTO; CARVALHO e HO, 2006; FERNANDES E TURRIONI, 2007; KUMAR, 2007; SCHROEDER *et. al.*, 2008).

Para promover uma melhor compreensão desta abordagem é necessário considerar dois aspectos: o primeiro referente ao conteúdo estratégico gerencial e o segundo referente ao uso de ferramentas estatísticas será apresentado a seguir.

2.5.1 Aspectos Estratégico e Gerencial do Seis Sigma

O Seis Sigma necessita de uma estrutura organizacional adequada que permita o gerenciamento dos projetos centralizados em um departamento, permitindo um

funcionamento coeso das atividades de desenvolvimento e otimização de recursos, além de favorecer a ênfase no treinamento nos métodos e ferramentas para a resolução de problemas. Uma das missões deste departamento é identificar as oportunidades de melhoria, classificá-las por prioridade, afim de que se tornem projetos devidamente alinhados aos objetivos estratégicos das organizações e seus resultados representem certa vantagem competitiva (PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; ECKES, 2001; ROTONDARO, 2002; CORONADO e ANTONY, 2002; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2003; PMI, 2004; FERNANDES E TURRIONI, 2007; KUMAR, 2007; TOLEDO, *et. al.*, 2008; SCHROEDER *et. al.*, 2008).

As principais fontes para identificação de potenciais projetos Seis Sigma incluem clientes, fornecedores, colaboradores, *benchmarking*, a evolução da tecnologia e a extensão de outros projetos, pois, é comum para a equipe de projeto encontrar novas possibilidades de melhora após a conclusão de um projeto. Desta forma, a avaliação dos pós-projetos possibilita compartilhar o aprendizado, economizar tempo para o desenvolvimento de novos projetos e auxiliar a identificação de novos (ECKES, 2001; ROTONDARO, 2002; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2003; KUMAR, 2007).

Alguns autores consideram como sendo uma boa prática de conduta dos escritórios de projetos a constatação da eficiência dos projetos pelos setores contábeis da organização, em conjunto com os departamentos envolvidos na busca da viabilidade técnica e econômica, já que o desenvolvimento do projeto envolve principalmente a alocação de recursos financeiros (ROTONDARO, 2002; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2003; PMI, 2004 TOLEDO *et. al.*, 2008).

Por envolver muitas vezes uma grande quantidade recursos financeiros necessários para desenvolver as melhorias, os escritórios de projetos são compostos por profissionais com escolaridade de nível superior, principalmente com graduação em Engenharia e alguns integrantes pós-graduados. Este perfil profissional é necessário para desenvolver projetos de melhoria complexos além de evidenciar a necessidade de um amplo conhecimento técnico e gerencial para alcançar os resultados esperados com o projeto (YANG e TREWN, 2004; PINTO; CARVALHO e HO, 2006).

Pode-se destacar o desenvolvimento de recursos humanos por meio de educação e treinamento como sendo um fator para o sucesso do Seis Sigma. O extensivo treinamento em ferramentas analíticas é um diferencial desta abordagem, que busca a capacitação em técnicas já consagradas para um uso mais eficiente (CORONADO e ANTONY, 2002; GOH, 2002; SCHROEDER *et. al.*, 2008). No entanto, as organizações

precisam continuamente aprender, e se adaptar às últimas tendências e técnicas que ainda estão fora de seu domínio, para que estas possam ser úteis no desenvolvimento dos projetos de melhoria. Neste sentido Hair *et. al.* (2011) são defensores da aplicação das MDAs no ambiente organizacional. Entretanto, este conjunto de técnicas não faz parte da maioria dos cursos de formação e capacitação de profissionais em Seis Sigma (YANG, 2004).

Constata-se que as pessoas envolvidas com as atividades dos escritórios de projetos necessitam de treinamento em ferramentas principalmente estatísticas. Um treinamento eficiente nesta abordagem deve contemplar o uso das ferramentas alinhadas às práticas de gestão da qualidade, e assim, capacitar as pessoas para que elas desenvolvam soluções criativas e inovadoras (BYRNE; LUBOWE; BLITZ, 2007).

Observa-se que as pessoas envolvidas com as atividades do escritório de projetos são majoritariamente selecionadas a partir da indicação da chefia. Esta prática pode comprometer o programa já que em apenas uma pequena parcela das organizações o processo de seleção está baseada em testes de aptidão (YANG e TREWN, 2004; PINTO; CARVALHO e HO, 2006; SCHROEDER *et. al.*, 2008). A equipe que compõe o escritório de projeto é denominada *Belts*. Baseado no conjunto de atividades que executam, podem ser classificados em *Champions, Master Black Belts, Black Belts e Green Belts*. Desta forma, podem receber treinamento apropriado à função que executa. De maneira geral as empresas investem cerca de 200 horas com o aprimoramento dos envolvidos com o Seis Sigma independente de seu grau *Belts* (LARSON, 2003; PINTO; CARVALHO e HO, 2006; SCHROEDER *et. al.*, 2008).

O *Champion* geralmente é um diretor com grande experiência responsável por selecionar projetos, remover os entraves que possam aparecer como os conflitos de interesses. O *Master Black Belt* (MBBs) apresenta como característica uma alta especialização em técnicas métodos estatísticos, além de um alto conhecimento em Gestão de Projetos, isso contribui para sua atribuição de treinar os demais *Belts*. Os *Black Belt* (BBs) são indivíduos treinados pelos (MBBs) nas técnicas e métodos estatístico com conhecimento em gestão da qualidade, sua principal atribuição é gerenciar a equipe de projetos, geralmente dedica-se exclusivamente às atividades do escritório de projeto entre tanto sua dedicação pode variar dependendo dos interesses da organização. Já os *Green Belt* (GBs) são indivíduos treinados em técnicas e métodos estatísticos com uma ênfase menor que os BBs e apresentam uma dedicação parcial ao escritório de projetos. Sua principal atividade é dar suporte a implantação das melhorias já que o tempo que não atua no escritório executa atividades específicas dentro do processo produtivo. A alocação específica dos GB nos projetos está relacionada às atividades que executam fora do escritório de projetos e sua ligação com o

projeto (BRUE, 2002; BASU e WHIRGHT, 2003; LARSON, 2003; SCHROEDER *et. al.*, 2008).

Com relação à dedicação às atividades do escritório nas organizações nacionais pode-se destacar que os MBBs têm dedicação exclusiva. Os BBs dedicam-se 60% do seu tempo às atividades de melhoria, entretanto divide este tempo com atividades cotidianas. Já os GBs dedicam 35% do seu tempo com atividades pertencentes ao escritório e o restante de seu tempo é dedicado atividades cotidianas das organizações (PINTO; CARVALHO e HO, 2006).

É possível identificar a utilização das ferramentas tradicionais do Seis Sigma de acordo com o nível de formação *Belts*. Neste sentido ferramentas básicas como gráfico de fluxo, Folhas de Verificação, Diagrama de Pareto, Diagramas de Causa-e-Efeito e Histogramas são mais apropriadas para os GBs (BRUE, 2002; BASU e WHIRHT, 2003; LARSON, 2003; YANG, 2004). Ferramentas mais avançadas como análise de regressão logística e probabilística, Testes de Hipóteses, Gráficos de Controle e DOE são ferramentas típicas dos projetos BBs e MBBs (BRUE, 2002; BASU e WHIRHT, 2003; MONTGOMERY, 2004, 2005, 2010; LARSON, 2003; YANG, 2004).

O DMAIC envolve os diferentes membros do escritório de projetos em diferentes etapas do processo de melhoria. O *Champion* desempenha um papel ativo na etapa de definir, e de apoio nas demais etapas. Os MBB são responsáveis pelo processo e assumem um papel muito mais ativo na etapa de controle, e uma função de apoio nas outras etapas. Os GB tendem a assumir uma função mais ativo em medir, analisar e melhorar. Finalmente, os BBs atuam como líderes de projeto e são ativos em todas as etapas do processo.(YANG, 2004; MERGULHÃO; MARTINS, 2008; SCHROEDER *et. al.*, 2008).

Segundo Montgomery (2010) o DMAIC corresponde a um dos métodos de análise e solução de problemas, amplamente ligado a abordagem Seis Sigma para a melhoria da qualidade composto por cinco fases, cada qual com seu objetivo e técnicas necessárias para a condução dos trabalhos descrita a seguir:

Fase de Definição - Esta é a primeira fase do desenvolvimento do projeto Seis Sigma. Nesta fase busca-se conjecturar o desenvolvimento do projeto, contemplar os objetivos para atender os requisitos dos clientes. Dentro deste escopo de projeto são definidas as responsabilidades e prazos para os envolvidos. Esta fase envolve ainda a identificação das medidas-chave da eficiência e da eficácia (ECKES, 2001). Para tanto se busca identificar as variáveis que atuam de forma negativa na variabilidade do processo por meio da utilização de ferramentas que buscam identificar e priorizar as variáveis a serem trabalhadas no projeto. A

medição impõe a determinação de um plano de coleta de dados que assegure que a amostragem seja representativa (MEHRJERDI, 2011).

Fase de Mensuração – Nesta fase, busca-se verificar a confiabilidade das informações. Sendo possível identificar as principais fontes de variação do processo e sua contribuição para a variação total. Desta forma, é possível avaliar a capacidade do processo e o nível sigma. Para isso é necessário desenvolver um plano de coleta de dados. Neste sentido uma análise de R&R (repetibilidade e reprodutibilidade) pode ajudar a identificar as principais fontes de variação do sistema de medição para posterior redução. Assim, um sistema de medição confiável e possível se concentra na redução de variabilidade do processo (ECKES, 2001; PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; ANTONY E BANUELAS, 2002; BRUE, 2002; BASU e WHIRHT, 2003; LARSON, 2003).

Fase de Análise - Nesta fase se determina e valida a causa dos problemas, que é o alvo da busca de melhoria. Nesta fase ainda busca-se determinar a diferença entre o estado atual do processo e o estado desejável. Por meio de técnicas gráficas é possível verificar o comportamento do processo e assim identificar as causas determinantes da variação para posterior validação dos resultados (ECKES, 2001; PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; ANTONY E BANUELAS, 2002; BRUE, 2002; BASU e WHIRHT, 2003; LARSON, 2003; MEHRJERDI, 2011).

Fase de Melhoria - É a totalização dos esforços das atividades relacionadas com a geração, seleção e implementação de soluções. A melhoria é conseguida com soluções que eliminem, atenuem ou minimizem as causas do problema. Nesta fase são apresentadas as possíveis soluções para que seja definido o plano de ação da para implantação da melhoria. Desta forma, observa-se implicação da solução teórica nos resultados práticos (ECKES, 2001; PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; ANTONY e BANUELAS, 2002; BRUE, 2002; BASU e WHIRHT, 2003; LARSON, 2003; MEHRJERDI, 2011).

Fase de Controle - É a ação de garantir que as melhorias se sustentem ao longo do tempo. O controle deve acontecer diretamente no processo permitindo que os operadores tomem ações corretivas e que os níveis superiores de decisão quantifiquem a ocorrências. Isto pode ser alcançado por meio de soluções e gráficos da estatística que alertem quando acontecerem mudanças ou surgirem defeitos no processo. Nesta fase a sua principal contribuição é identificar ameaças ao processo não permitindo que volte ao estado original. Para tanto o uso de ferramentas estatísticas de monitoramento permite uma visualização da variabilidade do processo. Já os mecanismos gerenciais facilitam o estabelecimento da rotina de processo (ECKES, 2001; PANDE; NEWMAN e CAVANAGH, 2001; ANTONY E

BANUELAS, 2002; BRUE, 2002; BASU e WHIRHT, 2003; LARSON, 2003; MEHRJERDI, 2011).

2.5.2 Aspecto Estatístico do Seis Sigma

O aspecto estatístico pode ser compreendido como um conjunto de ferramentas altamente relacionadas ao CEP para a melhoria dos processos produtivos por meio da redução da variabilidade. Assim sendo, a variabilidade é reduzida a um nível extremo em que a probabilidade da ocorrência de uma falha será menor que 3,4 por milhão de oportunidade (YANG, 2004; MONTGOMERY, 2010). O processo de melhoria envolve a identificação, coleta, tratamento e análise de dados, além da identificação das associações entre variáveis, fornecendo a base de sustentação dos projetos Seis Sigma. O uso correto das técnicas estatísticas está intimamente relacionado ao conhecimento técnico do pessoal envolvido nos projetos de melhoria. Sendo assim, os conceitos estatísticos complexos, como credibilidade e validade dos dados, são primordiais para o sucesso dos projetos.

A abordagem Seis Sigma necessita de uma formação contínua dos profissionais, e expõe ainda a necessidade do constante fortalecimento dos conhecimentos fundamentais em ferramentas e técnicas, além de ratificar que os gerentes e empregados aplicam e implementem os conceitos desta abordagem de forma eficaz (YOUNG; FRANK, 2006).

Atualmente há necessidade de uma sólida formação acadêmica por parte dos responsáveis pela melhoria da qualidade. Isto é evidenciado por uma demanda emergente de alguns setores como governo, indústria, serviços por treinamento na filosofia gerencial do Seis Sigma e ferramentas de melhoria da qualidade. Entretanto, alguns autores enfatizam a necessidade de reformulação da maneira que as técnicas estatísticas são lecionadas. Muitas vezes algumas técnicas são subutilizadas pelos profissionais devido à dificuldade em fazer a ligação entre a teoria apresentada e sua aplicação prática nos problemas cotidianos (MITRA, 2004; MAKRYMICHALOS, 2005; YOUNG e FRANK, 2006; MONTGOMERY, 2010).

Um exemplo clássico da necessidade da incorporação no cotidiano das organizações via profissionais que atuam com melhoria refere-se a uma compreensão adequada do conceito de dominância (JURAN e GODFREY, 1999). Este conceito considera uma única variável como sendo a principal responsável pela variação no processo. Nesta mesma linha de raciocínio muitas vezes durante a aplicação do método DMAIC as ferramentas disponíveis lidam com os problemas de forma univariada. Portanto quando os processos são considerados desta forma os efeitos das combinações entre variáveis são

desconsideradas. Em algumas situações isto implica em resultados que comprometem a efetiva redução da variabilidade do processo. Desta forma, é necessário que os profissionais da melhoria reconheçam as correlações existentes entre as variáveis e utilizem ferramentas estatísticas adequadas que consideram essas relações entre as variáveis em diversas situações nos quais seja necessário (MITRA, 2004; YANG, 2004; MAKRYMICHALOS *et. al.*, 2005, YOUNG e FRANK, 2006; MONTGOMERY, 2010).

O Pensamento Estatístico complementa o conceito de dominância, pois considera que o número de variáveis atuantes sobre o processo pode ser maior que o estimado tradicionalmente por algumas organizações, devido a fatores intrínsecos ao processo de produção. Assim, as MDAs podem contribuir para o sucesso dos projetos de melhoria, pois analisam simultaneamente as diversas relações existentes entre as variáveis envolvidas no projeto (MITRA, 2004; YANG, 2004; MAKRYMICHALOS *et. al.*, 2005, YOUNG e FRANK, 2006; MONTGOMERY, 2010).

Segundo Yang e Trewn (2004) quase todos os métodos estatísticos populares usados na prática pela engenharia de qualidade são métodos univariados. Além disso, poucas instituições oferecem treinamentos em métodos estatísticos multivariados. As principais barreiras na aplicação das MDAs em situações práticas na busca pela melhoria da qualidade são principalmente de ordem psicológicas. Por um longo tempo, estas técnicas de análise de dados eram vistos como complexos, de difícil uso e interpretação dos resultados. No entanto, com o desenvolvimento computacional, a maior parte das MDAs pode ser realizada dentro de uma fração de segundo (YANG; TREWN, 2004; YANG, 2004).

Um estudo recente revelou que 95% das organizações utilizam de programas computacionais como Minitab e a Microsoft Excel em seus projetos de melhoria. Felizmente os pacotes estatísticos como Minitab já contam com o conjunto de ferramentas para análise de dados sofisticados e complexos como as MDAs, sendo desnecessário fazer investimento para lidar com problemas multivariados (PINTO; CARVALHO e HO, 2006).

2.5.2.1 Tipos de Variáveis

Em muitos projetos de melhoria de qualidade, existe a necessidade de utilizar ferramentas para estabelecer as relações entre as variáveis, sendo necessário conceituar a relação entre as variáveis dependentes e independentes. Em aplicações industriais, variáveis dependentes são muitas vezes características funcionais, de segurança ou características de desempenho do processo. As variáveis independentes são muitas vezes parâmetros ou variáveis do processo (MONTGOMERY, 2004; YANG; TREWN, 2004).

Para a utilização eficiente das técnicas estatísticas é imprescindível que o *Belt* seja capaz de distinguir os diferentes os tipos de variáveis presentes nos projetos de melhoria e os pressupostos exigidos pelas diferentes técnicas. Saber diferenciar as diferentes classes de variáveis presentes nos processos produtivos auxilia na seleção apropriada das técnicas estatísticas para a resolução de problemas e assim obter melhores resultados. As variáveis são classificadas em dois grupos principais: **qualitativas** e **quantitativas** (BASILEVSK, 1994; MONTGOMERY, 2004).

As variáveis qualitativas (não-métricas) são definidas como características ou propriedades que indicam ou descrevem o objetos em categorias. Neste sentido pode assumir o formato de grupos do tipo (A, B, C, ou as cores azul, branco, preto) ou mesmo indicando a presença ou não de algumas características. Este tipo de variável admite duas escalas de medida a ordinal e a nominal. A escala nominal identifica o número de ocorrências em cada classe ou categoria. A escala ordinal pode ser ordenada segundo algumas características estabelecidas.

Já as variáveis quantitativas são representadas pelas escala métrica que fornecem um alto nível de precisão de medida, sendo possível que todas as operações matemáticas sejam executadas, ao contrário da anterior. Essas escalas de medida têm unidades constantes de medidas e as diferenças entre elas podem ser mensuráveis com facilidade como, por exemplo, as medidas de distância, comprimento, peso e volume. Este tipo de variável admite dois tipos de escala como: contínuas e discretas. As variáveis discretas assumem valores inteiros em um intervalo. Já variáveis contínuas pertencem ao conjunto dos números reais sendo possível realizar o maior número de operações matemáticas. O Quadro 2.4 apresenta um resumo das características relevantes quanto à diferenciação dos tipos de variáveis.

Quadro 2 4 — Tipos de variáveis

	Variáveis	Definição	Escala	Exemplos
1	Quantitativas	São as de características mensuráveis, pois apresentam valores numéricos	Métrica	
1.1	Discretas	São aquelas que assumem valores dentro de um tempo finito ou enumerável	G/l; Km/H	Taxa de defeitos Número de bactérias por litro de leite,
1.2	Contínuas	São aquelas que assumem valores dentro de conjunto de números reais	Unidades, M, Kg	Unidades produzidas
2	Qualitativas	São aquelas que se baseiam em qualidades e não podem ser mensuráveis numericamente	Não métrica	
2.1	Nominais	Não existe ordenação dentre as categorias	Grupo	Apresenta defeito Não apresenta defeito Tipo de defeitos
2.2	Ordinais	Existe uma classificação entre as categorias	Ordem	Qualidade (1o, 2o, 3o). Participação de vendas

Fonte: BASILEVSK 1994; MONTGOMERY E RUNGER 2003.

Este capítulo apresentou conceitos referentes à condução das atividades de melhoria da qualidade, citando algumas abordagens e focando principalmente na abordagem Seis Sigma. Estes conceitos correspondem ao gerenciamento das atividades de melhoria. O próximo capítulo apresenta uma revisão teórica sobre os principais métodos estatísticos industriais para a melhoria da qualidade. Apesar de simples, estas técnicas são importantes dentro do contexto de melhoria da qualidade, correspondendo a um conjunto de ferramentas utilizadas dentro das fases do DMAIC para a melhoria da qualidade.

3 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS UNIVARIADAS PARA MELHORIA DA QUALIDADE

Este capítulo apresenta uma revisão teórica sobre as ferramentas estatísticas univariadas mais utilizadas nos projetos de melhoria Seis Sigma. O Quadro 3.1 apresenta as fases em que técnicas estas técnicas estatísticas são mais utilizadas no DMAIC.

Quadro 3.1 — Ferramentas estatísticas mais utilizadas no Seis Sigma

FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS FREQUENTEMENTE EM PROJETOS SEIS SIGMA	ETAPA DO MÉTODO DMAIC					
	Definir	Medir	Analisar	Melhorar	Controlar	Ranque
Técnicas de Coleta de Dados						1
Histograma						2
Diagrama de Pareto						3
<i>Brainstorming</i>						4
Carta de Controle						5
Índices de Capacidade de Processo						6
Avaliação de Sistemas de Medição (R&R)						7
Controle Estatístico de Processo						8
Diagrama de Causa e Efeito						9
<i>Boxplot</i>						10
Análise de Variância (ANOVA)						11
Folha de Verificação						12
Diagrama de Dispersão						13
Planejamento de Experimentos (DOE)						14

Fonte: ANDRIETTA; CAUCHICK-MIGUEL; MAESTRELLI, 2005.

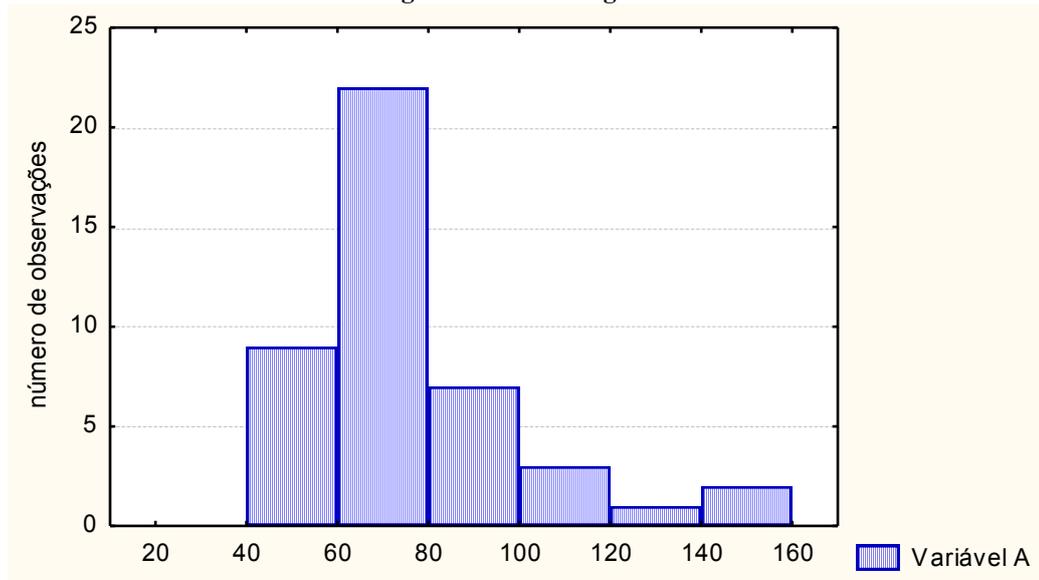
Este capítulo apresenta algumas ferramentas básicas que fazem parte do cotidiano dos projetos de melhoria Seis Sigma. Nesta seção são apresentadas ferramentas univariadas básicas para a melhoria da qualidade.

3.1 Histograma

O histograma é uma ferramenta estatística utilizada para resumir os dados numéricos referente a uma variável. Esta ferramenta pertence ao grupo das técnicas estatísticas descritivas. Seu objetivo é fornecer uma representação gráfica da distribuição dos valores do processo em relação a um valor alvo (geralmente média ou mediana). Desta forma, mostra visualmente o comportamento da variável sob estudo, fornecendo uma gama de informações como formato da distribuição e medida de posição central da dispersão (KUME, 1993; MOTGOMERY, 2002).

Esta ferramenta é constituída por uma série de retângulos representando os intervalos de classes na qual a variável assume valores, a altura representa a frequência de ocorrência dos dados. O conjunto de retângulos mostra o valor ou intervalo mais freqüente, o comportamento geral da variável em questão (KUME, 1993; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993; LARSON, 2003; JOGLEKAR, 2003). A representação gráfica de um histograma pode ser observada na Figura 3.1.

Figura 3.1 — Histograma



Fonte: Próprio autor

Para a construção de um histograma deve-se levar em consideração o correto número de classes, pois um número grande ou pequeno dificulta a visualização da distribuição (AGRESTI, 1996; MOTGOMERY, 2002; SCOTT, 1992; TUKEY, 1977). A regra de Sturges estabelece o número de classes e a amplitude de cada classe. O Número de classes por esta regra é dada pela seguinte equação:

$$K \approx 1 + 3,3 \log (N)$$

$$H = \frac{At}{K}$$

sendo:

K = número de classes

N = número total de observações

H = amplitude do intervalo de classes

At = amplitude total (diferença entre a maior e o menor valor observados).

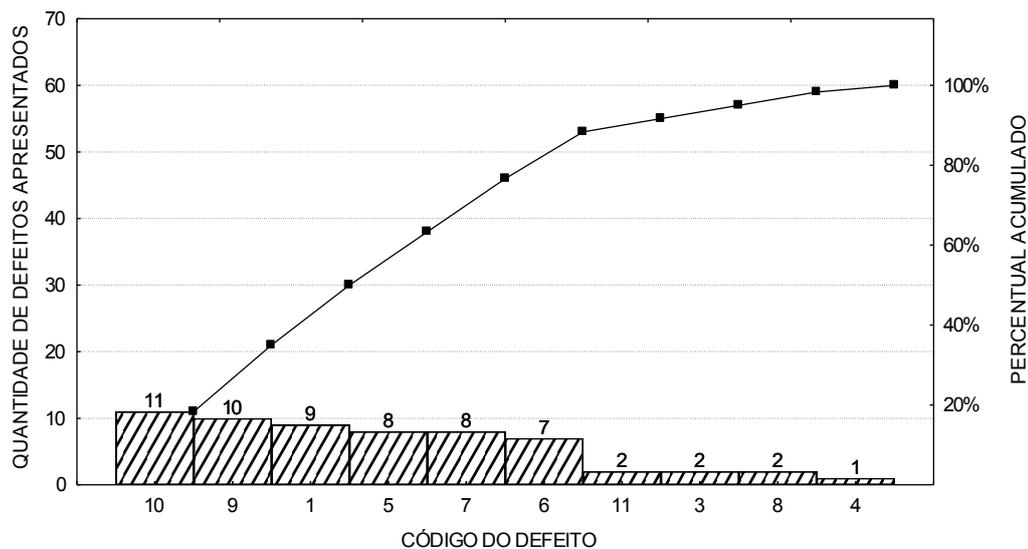
3.2 Diagrama de Pareto

Para Montgomery e Runger (2003) o diagrama de Pareto apresenta algumas características comuns ao histograma sendo considerado como uma variação deste último para dados categóricos. Portanto, se o histograma consiste a representação gráfica de um único fator, já o diagrama de Pareto pelo contrário representa diversas variáveis. Conforme observado na Figura 3.2.

O princípio de Pareto foi desenvolvido pelo economista Italiano Vilfredo Pareto no século XIX enquanto estudava a concentração de renda naquele país. Ele descobriu que 90% dos rendimentos estavam concentrados em 10% da população. A partir desta constatação formulou o princípio “poucos, porém vitais”. Desta forma, observa-se que grandes efeitos podem ser causados por um número pequeno de variáveis, altamente significativas. O Diagrama de Pareto é uma ferramenta versátil que pode ser utilizadas para diversos objetivos. Como exemplo de aplicação desta técnica, pode-se destacar os resultados de uma pesquisa realizada no ano de 2006 que apontou que a maioria das organizações do Reino Unido utiliza o diagrama de Pareto como principal ferramenta para selecionar projetos de melhoria (BANUELAS, 2006).

A Figura 3.2 apresenta um gráfico de Pareto utilizado para verificar qual defeito apresenta maior concentração. Desta forma, determinados tipos de defeitos presentes em um produto foram numerado de (1 a 11) e assim foi possível observar que o defeito que apresenta a maior concentração é o defeito codificado como 10.

Figura 3. 2 — Diagrama de Pareto



Fonte: Próprio autor

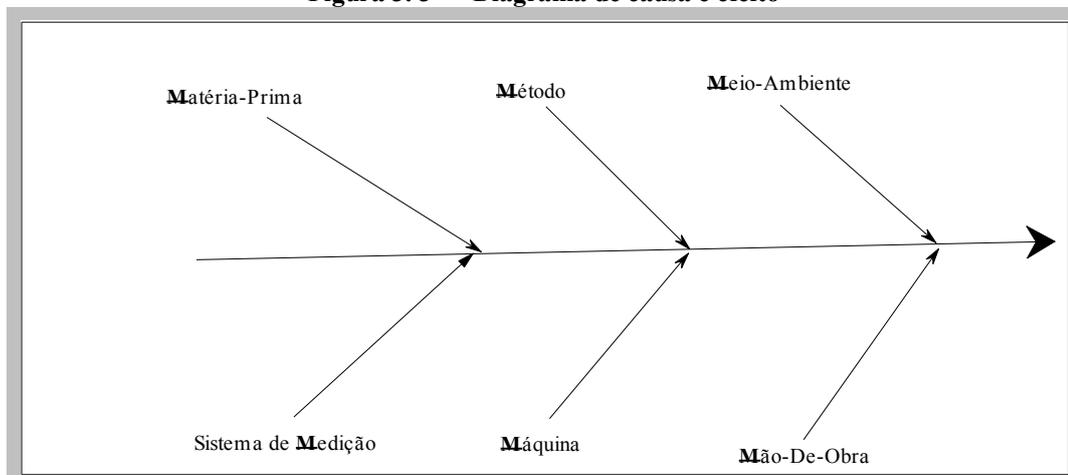
3.3 Diagrama de Causa-e-Efeito

O diagrama de causa-e-efeito foi adotado primeiramente em problemas de produção, porém atualmente é utilizado em diversas situações. Esta técnica permite a equipe ou grupo de resolução de problemas explanarem seus pensamentos sobre as possíveis causas dos problemas, sendo utilizada para identificar as causas potenciais do efeito indesejado de maneira clara e concisa, por meio da criação de uma estrutura de idéias (KUME, 1993).

Os benefícios desta técnica envolvem analisar e comunicar as relações existentes que causam os problemas. Este diagrama é utilizado como uma ferramenta analítica que permite expor as relações entre um determinado efeito e suas causas potenciais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993).

Para o desenvolvimento de um diagrama de causa-e-efeito é necessário definir as ramificações principais de possíveis causas. De maneira geral este diagrama é composto na sua raiz genérica de 6 fatores principais para identificar as causas de um efeito que são: a influência das matérias primas e suas características. O método ou forma de trabalho, como se manuseia determinado item durante processo. A máquina, que equivale ao recurso transformador ou equipamento que executa determinada modificação no produto. O meio ambiente como as características presentes no lugar interferem no processo produtivo causando uma variação indesejada. E a influência da mão de obra, este principalmente relacionado a treinamentos e orientações na condução do trabalho. E o método de medição, que corresponde à influência do sistema de medição e ao uso de equipamentos adequados a execução da tarefa de avaliar o desempenho do processo (KUME, 1993; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993; MONTGOMERY, 2002; LARSON, 2003). A Figura 3.3 ilustra o desenvolvimento de um diagrama de causa-e-efeito.

Figura 3.3 — Diagrama de causa e efeito



Fonte: (KUME, 1993).

A união das técnicas *Brainstorm* (tempestade de idéias) com o diagrama de causa-e-efeito garante resultados melhores e um aproveitamento maior de ambos, pois apresentam as mesmas regras de elaboração e objetivo semelhantes. É recomendado para a execução destas atividades um intervalo de uma semana, isto permite a participação de todos os envolvidos e que novas idéias surjam (LARSON, 2003).

3.4 Folhas de Verificação

As folhas de verificação são utilizadas para a coleta de dados de maneira que possam ser utilizados no futuro. Para isso deve se utilizar um formulário simples que reflita fatos reais. Existe diversas variações das folhas de verificação que podem ser aplicadas em diversas situações. É recomendável que exista uma maneira de possibilitar a futura análise de dados. Como regra geral algumas informações devem estar contidas no cabeçalho como, o nome do coletor dos dados o horário, o dia da semana, o número de registro do item que está sendo coletado e um croqui do item a ser avaliado. Desta forma, pode ser utilizado para providenciar uma melhor visualização das áreas em que se concentra os maiores problemas (KUME, 1993).

3.5 Gráfico de Controle

Abordagens modernas para a resolução de problemas como o Seis Sigma atuam em causas comuns de variação. O gráfico de controle ou gráfico de Shewart, como também são conhecidos, é uma ferramenta para verificar visualmente a variação do processo. Sua utilização fornece uma forma de distinguir as causas comuns das especiais o que permite uma intervenção eficiente no processo produtivo, caso seja necessário (MONTGOMERY, 2004).

Este gráfico é composto basicamente por três linhas horizontais das quais duas são destinadas ao limite de controle e uma linha central ou valor nominal do processo, sua elaboração é simples e seus cálculos pouco complexos. Como regra geral os limites de controle são definidos em $\pm 3 \sigma$ (desvio padrão), apresenta bons resultados para o processo, pois geralmente valores fora destes limites podem ser causados pela atuação das causas assinaláveis (MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2004).

A estimação dos limites de controle leva em consideração a média do processo somado a três vezes o desvio-padrão da média amostral $\delta_{\bar{X}}$ para o Limite Superior De Controle (USL). Desta mesma forma o Limite Inferior De Controle (LSL) equivale ao valor

médio menos três vezes o valor do desvio padrão da média amostral. De modo simplificado quando todos os pontos estão dentro dos limites de controle de 3 sigma o processo está sob controle. Desta forma, estarão presentes apenas causas comuns de variação. Quando algum ponto ultrapassa os limites de controle considera-se o processo como fora de controle estatístico; neste caso além das variações comuns estão presentes no processo causas assinaláveis (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Uma análise de Pareto é fundamental para elaborar uma carta de controle, pois a primeira questão a ser respondida refere-se à característica da qualidade que deve ser controlada. Estas características de qualidade podem ser controladas por dois tipos de gráficos de controle distintos (KUME, 1993; MONTGOMERY e RUNGER, 2003), a saber:

- a) o gráfico por atributo apresenta característica dicotômica do tipo passa ou não passa ou se apresenta determinado defeito. Na elaboração deste tipo de gráfico é levado em consideração o limite superior de controle já que não faz sentido um limite inferior de controle e a linha central para verificar o deslocamento na concentração do atributo ao longo do tempo;
- b) o gráfico de controle para variáveis é usado quando o objetivo é verifica-se o comportamento das variáveis métricas em relação ao tempo e assim identificar tendência de deslocamento da linha central. Este tipo de gráfico considera os limites superior e inferior de controle, além da linha de tendência central.

Para utilizar um gráfico de controle as amostras devem ser selecionadas baseadas no critério de formação de subgrupos racionais, ou seja, selecionados por meio de séries regulares de produção que preservem sua seqüência de produção. O conceito de formação dos subgrupos racionais define que a variação entre as amostras seja a menor possível e que a variação seja maior possível entre os grupos com a finalidade de se perceber alterações significativas no processo ao longo do tempo. Assim, este conceito considera que é melhor um número pequeno de amostras ao longo do tempo ao invés de uma grande amostra em um espaço de tempo. Para isso é necessário desenvolver um sistema de coleta de dados e instrumentos de medição confiáveis que sejam simples livres de erros.

As cartas de controle devem estar sob responsabilidade do pessoal operacional, que deve ser treinado para identificar causas de variação no processo e a tendência de deslocamento da linha central para os limites de controle, assim que estas ocorram. Além disso, alguns autores destacam a importância de mecanismos *on-line* de controle de processo, e que em alguns casos pequenas correções podem ser feita antes que uma falha grave ocorra automaticamente. Tais gráficos facilitam o fluxo de informações para análise posterior de

desempenho do processo além de servirem como base histórica para projetos de melhoria (ROZENFELD; AMARAL e TOLEDO, 2000).

Uma das questões mais importantes levantadas pelos membros da equipe de melhoria diz respeito à capacidade do processo. Este conceito se refere à estabilidade do processo que pode ser analisado a partir de informações das cartas de controle. Para ser considerado capaz o processo deve manter seus resultados próximos a linha central oscilando pouco em torno do valor alvo. Desta forma, quanto maior o nível sigma maior a capacidade do processo em produzir sempre abaixo da linha central ou sempre acima da linha central pôr dentro dos limites não significa que o processo é capaz (KUME, 1993; MONTGOMERY, 2002). O Quadro 3.2 mostra os principais indicadores de processo e sua finalidade.

Quadro 3.2 — Indicadores de processo

Sigla	Indicador de Capabilidade Do Processo	Objetivo
PP	Índice referencial de desempenho do processo	Verificar se o processo é capaz de produzir itens incluindo variações das causas especiais
CP	Índice de capacidade referencial do processo	Medir a capacidade potencial do processo, ou seja, sua capacidade de atender as especificações se o mesmo estiver ajustado
CPK	Índice de capacidade do processo	Medir a capacidade efetiva do processo. Considera simultaneamente se o processo possui uma dada dispersão e se a média atende as especificações levando em conta a centralização do processo sendo definido como o mínimo entre o limite superior e o inferior de Capabilidade
PPK	Índice de desempenho do processo	Indicar a centralização do processo

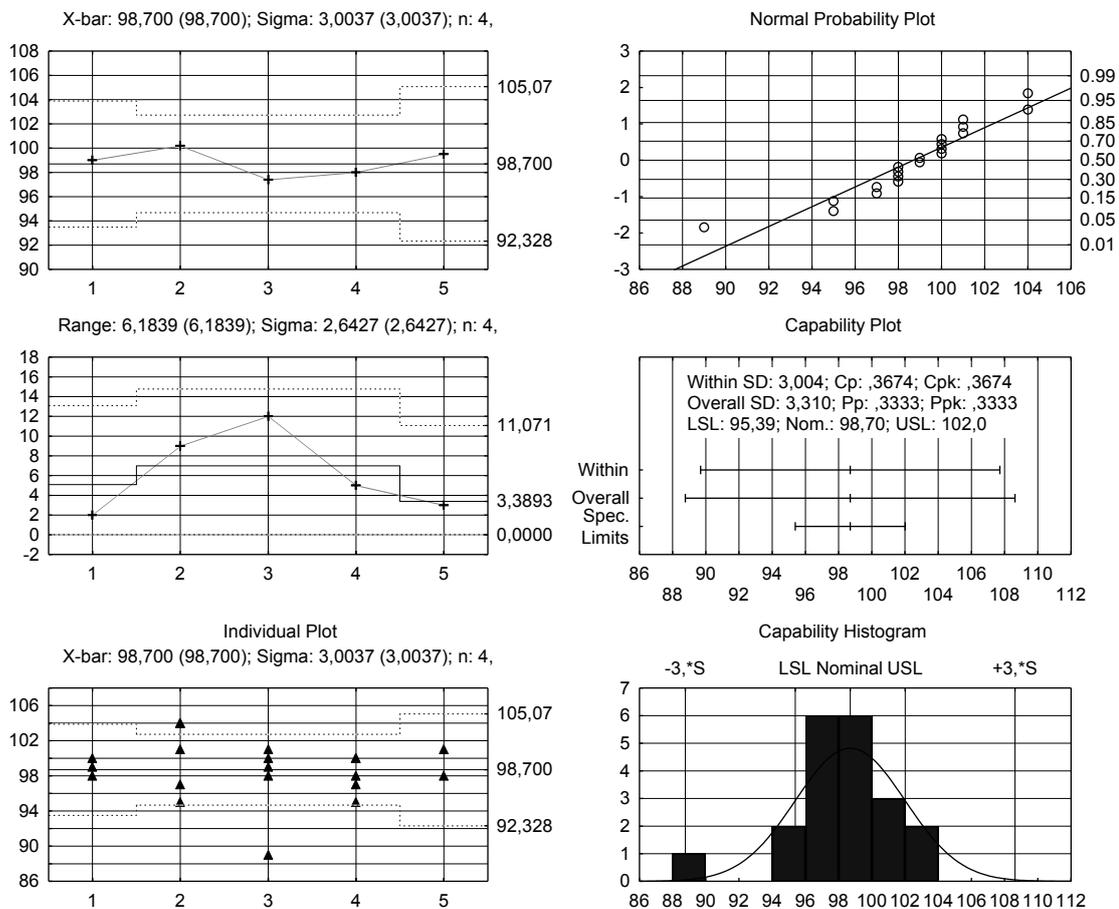
Fonte: MONTGOMERY 2004

A Figura 3.4 apresenta um conjunto de gráficos que representam algumas informações pertinentes ao processo de produção. O gráfico X-bar corresponde a uma carta de controle para demonstrar a variação dos resultados ao longo do processo de produção. Apenas o acompanhamento do processo não significa sua melhoria, os gerentes devem utilizar algumas informações para a uma intervenção eficiente no processo produtivo. A Normal Probability permite verificar o comportamento da distribuição dos valores para verificar se estes tendem a uma distribuição normal. Este tipo de gráfico permite verificar a ocorrência de resultados alheios ao processo, além de demonstrar o formato da distribuição, seus resultados permitem discriminar as causas assináveis atuando sobre o processo.

O Capability Plot apresenta os principais indicadores do processo. Estes indicadores demonstram a qualidade do processo sua capacidade em produzir itens dentro de

uma faixa de especificação bem como demonstrar as medidas de centralidade. *Capability Histogram* mostra a distribuição dos valores dentro de uma faixa de variação de 3 sigma, o que demonstra a atuação das causas especiais de variação, além de mostrar a amplitude de valores dentro de uma faixa de 3 sigma. O *Individual Plot* mostra os valores individuais obtidos pelo processo dentro dos subgrupos racionais. Este tipo de gráfico facilita a observação dos valores que estão dentro dos subgrupos racionais e assim pode ser observado a amplitude dos resultados do processo dentro do subgrupo racional.

Figura 3.4 — Gráfico de controle



Fonte: Próprio autor

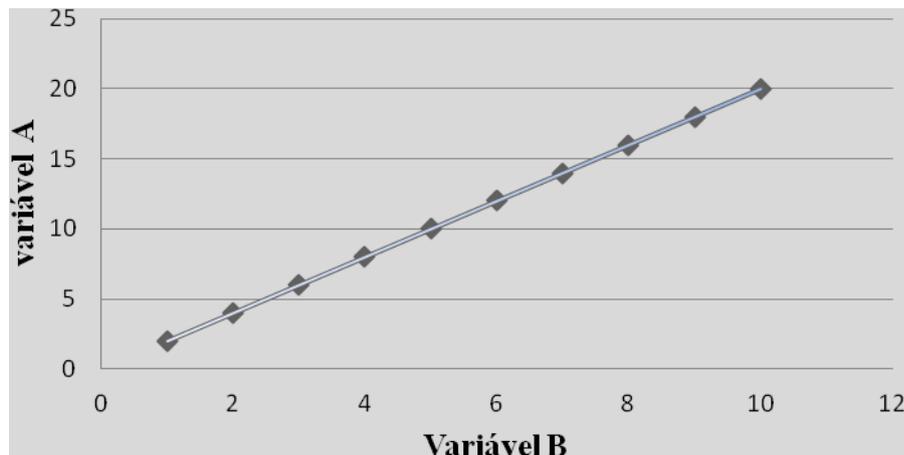
3.6 Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é o método mais popular para avaliar a relação entre duas variáveis. De maneira geral em um plano cartesiano considera-se a variável x como uma variável independente e no eixo y a variável resposta. O padrão de pontos representa a relação entre variáveis (KUME, 1993; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993; MONTGOMERY, 2002).

A organização dos pontos mostra o tipo de relação existente. Já a desorganização dos pontos pode indicar não haver relação entre as duas variáveis. Sendo assim os dados ficam dispersos sem condições de predição. Portanto quando os pontos estão organizados em uma linha reta é possível dizer que existe uma relação linear. Já um conjunto curvilíneo de pontos pode denotar uma relação não linear a qual pode ser acomodada de várias maneiras (KUME, 1993; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993; MONTGOMERY, 2002).

Quando se trata de avaliar a relação entre diversas variáveis, de dados multivariados, é recomendado a utilização de uma matriz de dispersão no qual são demonstradas as relações entre todas as combinações das variáveis (KUME, 1993; HAIR *et. al.* 2010). O uso desta técnica permite em primeiro lugar determinar se existe relação entre duas variáveis e a intensidade desta relação. Estes fatores permitem o desenvolvimento de um modelo de regressão capaz de prever o comportamento de determinado processo com certo grau de precisão (KUME, 1993; MONTGOMERY, 2002).

Figura 3. 5 — Diagrama de Dispersão



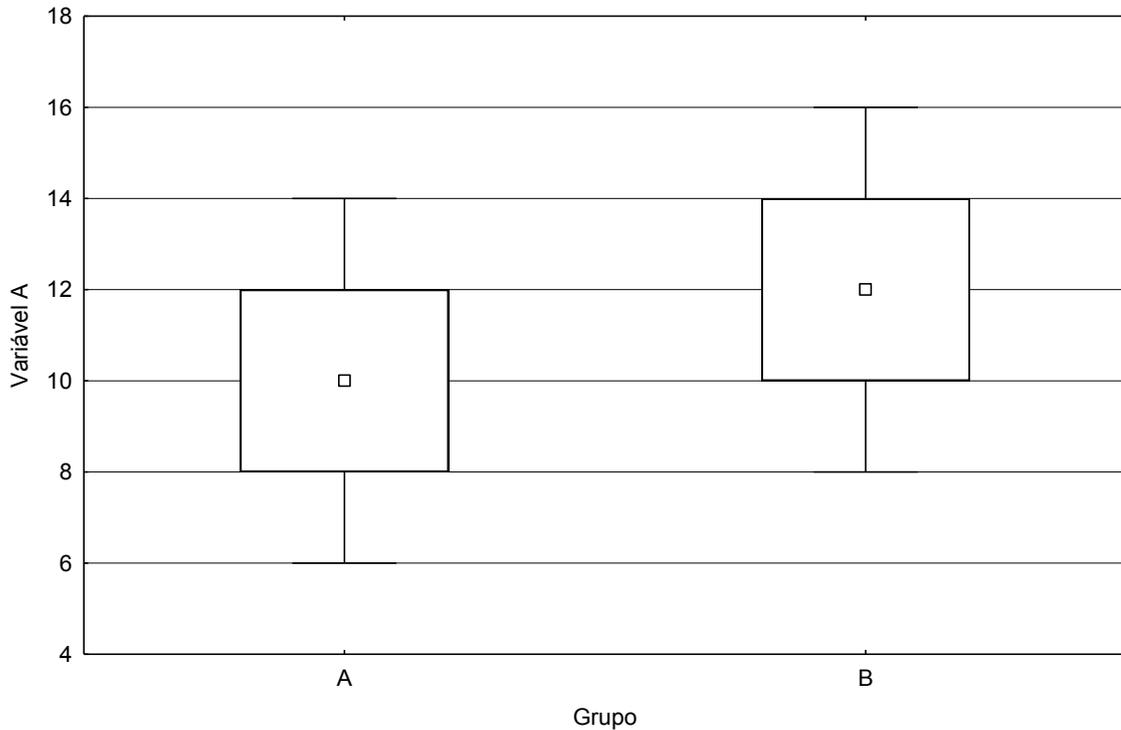
Fonte: Próprio autor

3.7 Diferença entre Grupos

É possível que o *Belt* esteja interessado em identificar diferença entre dois ou mais grupos até mesmo observações atípicas. Um método visual utilizado para verificar se existe diferença entre grupos e conhecido como *Box-plot*. Este método pode ser utilizado quando o *Belt* deseja observar diferença entre os grupos de maneira univariada. Segundo Hair *et. al.* (2010) as disposições gráficas não são um substituto para as medidas diagnósticas estatística. No entanto fornecem indícios para verificar a existência inter-relações que devam ser estudadas.

Conforme pode ser observado na Figura 3.6 sua construção é simples, o comprimento da caixa está compreendido entre o 25º percentil e o 75º percentil de maneira que a caixa contenha 50% dos valores centrais dos dados. Pode-se verificar a presença de observações aberrantes, simetria dos dados em relação a mediana e etc.

Figura 3. 6 — Box Plot



Fonte: Próprio autor

3.8 Design de Experimentos

Uma abordagem de experimentação que não trabalha com os dados de forma simultânea pode induzir o *Belt* a erro, já que este processo de experimentação pode produzir falsas condições de processo. Desta forma, seu sucesso dependerá de fatores como, sorte, experiência e intuição. Muitas vezes este tipo de experimentação requer grandes recursos para obter uma limitada quantidade de informações sobre o processo o que pode levar a resultados incertos (ANTONY, 1998). Segundo Montgomery (2004) os experimentos planejados são uma série de experimentos deliberados que permite observar o comportamento do processo. Desta forma, sua condução apropriada possibilita uma compreensão do comportamento das variáveis independentes que influenciam na variável dependente. Segundo Montgomery (2010) a DOE é a mais importante ferramenta para a melhoria da qualidade em projetos Seis Sigma devido a sua orientação para mudança ser sistematicamente introduzida e não baseada em observações passivas.

Sua aplicação é refletida em aumento da produtividade, redução da variabilidade, uma diminuição no tempo de desenvolvimento do processo, e principalmente na redução dos custos. Os objetivos principais desta análise são determinar a influência das variáveis independentes na variável dependente; determinar valores para a variável dependente que reduza a variabilidade; e para atingir a exigência nominal; minimizar o efeito das variáveis não-controláveis. O DOE é um método estruturado e rigoroso para a experimentação sendo considerada como uma técnica estatística poderosa para a compreensão do comportamento de um processo ou sistema. A vantagem desta técnica está em obter uma estimativa dos fatores e efeitos de suas interações que afetam o processo (ANTONY, 1998; MONTGOMERY, 2004, 2005).

Segundo Montgomery (2004) o procedimento para desenvolvimento de análise é composto por seis passos:

- a) conhecimento e relato do problema;
- b) escolha dos fatores e dos níveis;
- c) seleção da variável resposta;
- d) escolha do planejamento experimental;
- e) realização do experimento;
- f) análise dos dados;
- g) conclusão e recomendações.

Segundo Antony (1998) esta técnica foi desenvolvida em 1920 por Ronald Fisher no Reino Unido para melhorar o rendimento de culturas agrícolas. Desde então a DOE foi amplamente aceita e aplicada como uma importante ferramenta analítica nas áreas das ciências Biológicas e Agrícolas. Entretanto apenas recentemente tem sido aplicada na indústria como uma ferramenta para melhorar a qualidade para determinar os fatores mais importantes que afetam o controle do processo, reduzir a variabilidade do processo, proporcionar uma profunda compreensão do processo ou sistema redução do tempo de desenvolvimento de produto, determinar as condições ótimas para a operacionalização do processo reduzindo desperdícios, melhorar o rendimento, estabilidade e capacidade de um processo produtivo. O Quadro 3.3 apresenta os fatores que contribuem negativamente para o resultado.

Quadro 3. 3 — Pontos Principais Para Uso Efetivo da DOE

DIMENSÕES	FATORES QUE CONTRIBUEM NEGATIVAMENTE PARA O RESULTADO
Estatística	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa precisão dos experimentos devido a um número baixo de repetições; <ul style="list-style-type: none"> • Acreditar que quanto maior o número de observações melhor <ul style="list-style-type: none"> • A não observação dos pressupostos desta análise • Analisar os resultados como um fatorial completo, apesar de um ou mais fatores não terem sido randomizados, porque eles são difíceis de mudar; <ul style="list-style-type: none"> • Falta de análise residual; • Não checar <i>outliers</i>; • Transformar dados apenas para ajustes rápido • Esquecer interações e confundimentos com efeitos principais. <ul style="list-style-type: none"> • Generalização para valores fora do escopo estudado;
Técnicas e Metodológicas	<ul style="list-style-type: none"> • O uso de dados históricos como um grande experimento. • Não checar a estabilidade do processo antes do experimento. <ul style="list-style-type: none"> • Não planejar a fase de experimentação • Esquecer de identificar fatores chaves • Unidades de medidas diferentes • Não validar instrumentos de medição; <ul style="list-style-type: none"> • Ausência de teste piloto • Entrada de dados incorretos
Sociológica e Gerencial	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar muito dos recursos no primeiro conjunto de experimentos; <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar DOE a questões alheias ao processo de melhoria • Falta de compreensão entre os níveis gerenciais da aplicação da DOE <ul style="list-style-type: none"> • Desistir na primeira falha • Comunicação confusa ou pobre dos resultados.

Fonte: (FIRKA, 2011).

A aplicação de DOE na indústria se deu primeiro no seguimento químico na busca da melhoria dos processos. As indústrias japonesas foram precursoras na aplicação da DOE nos anos 60. Reconhecendo a vantagem da aplicação desta técnica, empresas ocidentais começaram a utilizá-las. Pode ser destacado como razões para a DOE não estar amplamente difundida nos meios industriais o inadequado treinamento em conceitos estatísticos básicos e no conceito de DOE e na falta de intimidade com os métodos computacionais (MONTGOMERY, 2004, 2005, 2010 e GOH 2002).

Experimento Fatorial: O planejamento fatorial 2^K corresponde a K fatores com 2 níveis (+ e -). À medida que cresce o número de fatores aumenta também o número de efeitos que podem ser estimados. Desta forma, um experimento com 6 fatores corresponde a 63 componentes: 15 interações de 4 fatores, 20 interações de três fatores, 6 interações de cinco fatores, 1 interação de 6 fatores 1 média. Devido a uma série de restrições presentes no processo produtivo é difícil executar uma análise fatorial de maneira completa, sendo

necessário utilizar a formação de blocos. Os blocos são um conjunto de experimentos que permitem reduzir os efeitos causados pela variabilidade do processo em fatores não controlados. Portanto é possível executar um planejamento contemplando replicações isto permite uma redução da variabilidade implícita nos resultados do experimento. Muitas vezes não é possível gerar um experimento completo devido a razões intrínsecos a realidade prática do processo.

4 FERRAMENTAS MULTIVARIADAS PARA MELHORIA DA QUALIDADE

Este capítulo apresenta um conjunto de MDAs utilizadas para desenvolver projetos de melhoria. Diversos autores referenciados neste trabalho abordam questões e conceitos algébricos relacionados a estas técnicas. Entretanto, poucos destes autores enfatizam a aplicação destas técnicas em situações práticas. Neste sentido, esta dissertação busca corroborar para a aplicação destas técnicas em projetos Seis Sigma, apresentando os conceitos mais relevantes e os objetivos das técnicas estudadas de maneira agradável aos *Belts* com pouco conhecimento matricial.

4.1 Fundamentos e Aplicações das MDAS

Na prática, observa-se em pesquisas empíricas que qualidade dos produtos é geralmente determinada, não por apenas uma característica, mas por um conjunto de características que podem estar correlacionadas. As variáveis são correlacionadas quando mudanças em uma das variáveis afeta outras. Desta forma, os *Belts* devem considerar as correlações existentes entre as variáveis para desenvolver seus projetos de melhoria, pois a qualidade dos produtos em muitos casos depende de muitas características consideradas na fase de projeto que são influenciadas por diversas variáveis. Portanto, há necessidade de modelos multivariados adequados e métodos alinhados à esta realidade que levam em conta as correlações entre as características de qualidade (ANGHEL, 2001; YANG, 2004; MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009, COSTA *et. al.*, 2010; MONTGOMERY, 2010; HAIR *et. al.*, 2010; FIRKA, 2011).

Desenvolvidas a partir do início do século XX, as MDAs referem-se a todos os métodos estatísticos que analisam simultaneamente cada objeto, ou indivíduo ou item sob investigação. Sendo consideradas com uma extensão dos métodos univariados, as MDAs envolvem a divisão, identificação e avaliação da variação do conjunto de variáveis, entre elas mesmas, ou entre as variáveis dependentes, ou uma ou mais variáveis independente, para uma tomada de decisão (YANG; TREWN, 2004; YANG, 2004; HAIR *et. al.*, 2010).

Segundo Hair *et. al.* (2010) as técnicas univariadas são limitadas a analisar apenas uma variável de cada vez. Por outro lado, as MDAs analisam simultaneamente centenas de variáveis, o que representa uma vantagem real aos métodos univariados. Assim, quando se trabalha com diversas variáveis ao mesmo tempo, é possível observar correlações

entre as variáveis que não seriam possíveis de serem percebida por meio do uso de técnicas univariadas.

As principais vantagens das MDAs estão na capacidade de lidar com um grande número de variáveis altamente correlacionadas. Desta forma, utilizam-se as informações contidas em todas as variáveis de maneira simultâneas, sendo muito mais eficiente para a detecção de desvios das condições normais de operação. A utilização de algumas MDAs permitem ainda a redução do espaço de monitoramento em poucas variáveis latentes, sendo possível identificar as principais variáveis ou até mesmo a interação entre as variáveis causadoras da variação do processo (KOURTI; LEE e MACGREGOR, 1996; BRUE, 2002). Segundo Manly (2008) pode ser preferível utilizar um único teste multivariado utilizando todas as variáveis juntas a utilizar diversos testes univariados.

A dificuldade da análise de dados em problemas industriais é que muitas vezes um número significativo de variáveis está correlacionado. Para agravar este problema existe o fato de que um típico conjunto de dados inclui um grande número de ruídos causados por diversos fatores que vão desde a entrada imprecisa dos dados à interferência de variáveis negligenciadas. Outro típico problema refere-se ao grande volume de dados gerados. Muitas vezes estes dados são subutilizados pela dificuldade de analisá-los e pelo estabelecimento de relações entre os dados sem o uso de técnicas apropriadas. Neste sentido, as MDAs são procedimento robustos e apropriados para serem aplicados nestas situações (CHAMPAGNE; DUDZIC, 2002; BRUE, 2002).

Embora a literatura disponível sobre a aplicação das MDAs na área da gestão da qualidade seja limitada, tais técnicas desempenham papéis importantes em muitas áreas de negócio e práticas industriais. As MDAs como Análise de Cluster, Regressão Múltipla, Análise Discriminante e Análise dos Componentes Principais e técnicas de visualização de dados, desempenham a função de *data-minig* auxiliando o *Belt* na busca pelas causas de variação no processo (BRUE, 2002; YANG; TREWN, 2004).

A utilização das MDAs requer um esforço de análise computacional significativos, pois estes métodos exigem conhecimento matricial (álgebra e cálculos diferenciais) elevado, porém a utilização de *softwares* especializados facilita o trabalho dos *Belts*. A razão para tal complexidade e esforço computacional é que estas técnicas envolvem o tratamento analítico de muitas variáveis, identificando relações estruturais, causais e explanatórias, com algoritmos complexos, diferentes métricas e escalas de medidas. Nesse sentido, a tecnologia computacional tem evoluído nas últimas décadas, o que possibilitou o

avanço na análise de dados complexos (YANG e TREWN, 2004; YANG, 2004; MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010; MONTGOMERY, 2010).

Apesar dos benefícios, esses métodos são subutilizados como ferramentas de melhoria na gestão da qualidade. A aplicação destas técnicas estatísticas é limitada e quando aplicada são muitas vezes realizadas erroneamente, principalmente devido à formação dos profissionais. Outro aspecto que restringe a aplicação desta técnica é a falta de comunicação entre os engenheiros, gerentes e estatísticos no ambiente industrial. Entretanto, observa-se um crescente interesse no uso das MDAs na indústria, principalmente em atividades ligadas a melhoria da qualidade (KOURTI; LEE e MACGREGOR, 1996; ANTONY e BANUELAS, 2002, 2004, CHAMPAGNE; DUDZIC, 2002; YANG; TREWN, 2004; MILETIC, 2004; MAKRYMICHALOS *et.al.*, 2005).

Para a utilização efetiva destas técnicas algumas barreiras devem ser superadas. Essas barreiras incluem pouca aceitação inicial e a falta de *know-how* na aplicação destas técnicas. Além do mais, as principais barreiras para a aplicação das MDAs são de ordem psicológica e comportamental. A eliminação dessas barreiras passa pelo apoio prestado em todos os níveis de gestão. Essa adesão pode ser alcançada por meio de uma abordagem estruturada no desenvolvimento de aplicações, e entrega de resultados vinculados ao retorno financeiro (MILETIC, 2004; YANG; TREWN, 2004; YANG, 2004). Os usos de técnicas estatísticas mais sofisticadas ocorrem quando o nível anterior de aprendizagem não permite responder a todas as questões de investigação colocadas. Este processo é interrompido quando o conhecimento obtido é considerado satisfatório do ponto de vista de tomada de decisão (CAPPELLI *et. al.*, 2010).

Segundo Champagne e Dudzic (2002) existem cinco competências-chaves necessárias para a aplicação destas técnicas no ambiente industrial: conhecimento do processo, experiência na aplicação das MDAs, integração de sistemas de informação, a interface dos programas utilizados deve ser agradável ao usuário do sistema, treinamento em ferramentas e métodos para a resolução de problemas.

Alguns *softwares* estão sendo usados nas organizações de forma limitada, já que as iniciativas de melhorias esbarram na formação estatística dos profissionais e na dificuldade de formular adequadamente os problemas. Desta forma, para analisar as relações existentes entre as diversas variáveis envolvidas dentro de um projeto de melhoria, exigirá do *Belt* um conhecimento elevado em ferramentas e técnicas para promover a melhoria. Estes fatores acima expostos geram grandes dificuldades para as organizações alcançarem melhores

níveis de qualidade (GOH, 2002; YANG; TREWN, 2004; PINTO; CARVALHO e HO, 2006; MANLY, 2008; FIRKA, 2010; HAIR *et. al.*, 2010; MONTGOMERY, 2010).

A justificativa para o uso das MDAs é que a complexidade das relações existente entre as diversas variáveis que atuam no processo produtivo, torna difícil analisar a atuação das variáveis causadoras de variação valendo-se apenas da experiência profissional dos envolvidos. A abordagem Seis Sigma fornece um ambiente propício à aplicação das MDAs, pois estas técnicas permitem visualizar as correlações entre variáveis e apontar para melhores caminhos para lidar com a variabilidade. Outro motivo para o uso destas técnicas em conjunto com esta abordagem deve-se às características dos projetos Seis Sigma atuar principalmente em causas comuns de variação (BRUE, 2002; YANG, 2004). Em concordância com isso Champagne e Dudzic (2002) atestam que aplicação das MDAs tráz vantagens para a gestão da qualidade, tais como:

- a) provisão para redução de dados com uma dimensão o que representa uma perda insignificante de informações, trazendo um melhor conhecimento sobre o processo;
- b) robustez para lidar com dados altamente correlacionados e problemas os dados perdidos e ruídos;
- c) representação gráfica significativa dos resultados do modelo;
- d) os modelos resultantes podem ser diretamente interpretados e pode fornecer *insights* sobre os dados como a identificação dos padrões dominantes, indicando quais variáveis são importantes para descrever os relacionamentos de dados;
- e) a capacidade de diagnosticar da validade do modelo conceitual vigente e da identificação de observações atípicas baseadas no modelo probabilístico.

Apesar das vantagens apresentadas e da capacidade de analisar e identificar relações complexas e difíceis de serem observadas há tendência quase que natural em aceitar os resultados (MANLY 2008). Entretanto, Hair *et. al.* (2010) pedem cautela em relação ao uso das técnicas pelas seguintes razões:

- a) observações atípicas podem influenciar demasiadamente os resultados;
- b) violações das suposições podem apresentar efeitos substanciais;
- c) apresentar resultados específicos de característica não generalizável, válidos apenas para amostra estudada;
- d) fragilidade do modelo conceitual proposto;
- e) falta de significância prática.

As MDAs permitem aumentar o poder analítico disponível, entretanto colocam maior responsabilidade nas mãos dos *Belts* devido à necessidade de se estabelecer a

significância prática e estatística de algumas análises. A significância estatística é importante para inferir sobre os resultados. Entretanto, deve-se avaliar a significância prática, que consiste em avaliar a proficiência da informação gerada. Além disso, pode-se observar a significância estatística em relações que não apresentem significância prática o que invalida os resultados (JOBSON, 1992; MONTGOMERY e RUNGER, 2003; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

Determinar o tamanho de amostra adequado é imprescindível para alcançar a significância estatística. Geralmente uma amostra pequena pode resultar em uma potência estatística baixa devido à complexidade e a sofisticação das MDAs. Em uma amostra pequena pode ocorrer facilmente um ajustamento dos dados de tal forma que os resultados são artificialmente bons, sem apresentar significância prática. Por outro lado a utilização de um elevado número amostral pode resultar em tempo excessivo na coleta de dados, aumento nos custos de análise e alta sensibilidade analítica. Portanto o mais indicado é verificar as exigências de cada MDA (GARCIA, 1995; MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

Adotar as MDAs como ferramentas para a melhoria da qualidade não implica em abandonar as ferramentas e técnicas tradicionais de melhoria por dois motivos. Primeiro porque estas análises apenas podem e devem ser utilizados em situações específicas que atendam a certos pressupostos estatísticos. A segunda razão se dá pela necessidade da utilização das ferramentas básicas para potencializar a aplicação deste conjunto de técnicas e alcançar a significância prática. A aplicação das MDAs como ferramentas para melhoria da qualidade auxilia na melhor compreensão do processo produtivo. Sua utilização depende de uma estrutura que facilite a obtenção e análise de dados (CHAMPAGNE; DUDZIC, 2002; NAKAGAWA *et. al.*, 2007).

Segundo Hair *et. al.* (2010), algumas ferramentas básicas para a melhoria da qualidade como o *brainstorm*; diagrama de causa-e-efeito e diagrama de Pareto dão suporte à aplicação às MDAs, pois auxiliam no conhecimento do formato da distribuição da variável e auxiliam no desenvolvimento do modelo conceitual livre de erro causado pela omissão de variáveis importantes. Outro problema relacionado à seleção apropriada do conjunto de variáveis refere-se à inflacionar o modelo com variáveis irrelevantes. Isto pode levar ao aparecimento do fenômeno chamado “multicolinearidade”. A multicolinearidade representa o grau em que qualquer efeito da variável pode ser previsto ou explicado pelas outras variáveis na análise. Para ser mais claro, a multicolinearidade reduz a capacidade em determinar o efeito das variáveis. O conceito de multicolinearidade refere-se à correlação entre 3 ou mais

variáveis independentes tendo forte impacto no desenvolvimento do modelo de regressão. Seu impacto consiste na redução do poder preditivo de qualquer variável independente na medida em que ela é associada com outras variáveis independentes.

O desenvolvimento do modelo conceitual para o conhecimento do problema que será estudado é apenas o primeiro passo na aplicação das MDAs. Neste sentido Hair *et. al.* (2010) descreve um procedimento composto por seis passos que auxiliam o *Belt* na aplicação apropriada destas técnicas. Esses passos fornecem uma estrutura para desenvolver, interpretar e validar qualquer MDA:

- a) o primeiro passo consiste em definir claramente os objetivos do problema e as relações a serem estudado;
- b) após o estabelecimento do modelo conceitual se faz necessário desenvolver um plano de análise que aborde questões particulares referente ao projeto. Dentro das questões devem ser considerados: o tamanho mínimo ou desejado da amostra; além da avaliação dos pressupostos específicos para as MDAs como a Normalidade Multivariada (NM) e tipos de variáveis exigidas ou permitidas;
- c) outro passo é a coleta eficiente dos dados, o importante é utilizar mecanismos que minimizam a entrada de dados imprecisos;
- d) com as suposições satisfeitas e dados coletados, inicia-se a verdadeira estimação do modelo multivariado. Nesta fase, ajusta-se o modelo multivariado e avalia-se o ajuste do modelo por meio da significância estatística e prática. Nesta fase é comum reespecificar as variáveis em uma tentativa de atingir melhores resultados, isto possibilitará uma maior robustez e a estabilidade dos resultados;
- e) este passo guarda certa relação com o anterior, pois o objetivo é identificar relações multivariadas nos dados da amostra que possam ser generalizável, se isto não acontecer deve-se retornar ao passo anterior e verificar novamente o modelo. Hair *et. al.* (2010) descrevem que é necessário examinar os erros de previsão para que estes apontem a direção. Isto permite diagnosticar a validade dos resultados obtidos, sendo uma indicação das relações importantes restantes sem explicação;
- f) o último passo consiste na validação dos resultados por meio de um diagnóstico que avalia o grau de generalização. Hair *et. al.* (2010) oferece algumas regras para validar estatisticamente os resultados: separar as amostras em duas partes e utilizar uma sub-amostra para ajustar o modelo e a outra estimar a precisão de previsão, utilizar a técnica de *bootstrapping*, ou mesmo juntar uma amostra separada para garantir que os resultados sejam apropriados para outras amostras.

4.2 Pressupostos das Técnicas Multivariadas

Mesmo na presença de violação das suposições estatísticas, os procedimentos multivariados ajustam modelos e produzem resultados. Portanto, o *Belt* deve estar ciente das suposições estatísticas e eventuais violações além da plena consciência das implicações na interpretação dos resultados. Desta forma, a necessidade de testar as suposições estatísticas é importante nas MDAs devido ao grande número de variáveis envolvidas e complexidade dos dados que podem mascarar os sinais de violação (JOBSON, 1992; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

Um destes pressupostos refere-se à necessidade de NM. A normalidade refere-se à forma da distribuição sendo facilmente observada de maneira univariada e um pouco mais complexa em análises multivariadas. O ponto de partida é a caracterização do formato da distribuição por meio de um Histograma, isto possibilita a observação dos valores da curtose e da forma simétrica. Além disso, se todas as variáveis estudadas forem normalmente distribuídas, não é garantia que exista a NM. Ao passo que, as variáveis individuais estudadas não apresentem normalidade, ainda assim pode ocorrer (JOBSON, 1992; MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010). A NM é dada pela seguinte função:

$$l(x_1, \dots, x_n; \mu, \Sigma) = -n \log(2\pi) - \frac{1}{2} (x - \mu)' \Sigma^{-1} (x - \mu)$$

sendo:

$$x' = (x_1, \dots, x_n)$$

$$\mu' = (\mu_1, \dots, \mu_n)$$

$$\Sigma = \{\sigma_{i,j}\}, i, j = 1, \dots, n.$$

A NM é especificada por uma matriz de covariância e um vetor de médias. A NM será inválida quando uma ou mais variáveis estudadas apresentam alta assimetria. Esta questão será superada por uma transformação apropriada de dados (JOHNSON e WICHERN, 1982). Violações desta regra podem trazer graves conseqüências ao resultado. Entretanto, algumas técnicas permitem leves desvios de normalidade o que representará um efeito pequeno nos resultados sendo perfeitamente aceitáveis. Hair *et. al.* (2010) permitem uma flexibilização da regra e recomendam se preocupar com a NM quando esta for especialmente crítica. Segundo os mesmos autores, grandes quantidades de variáveis tendem a diminuir os efeitos nocivos da não-normalidade.

Testes estatísticos de Normalidade: o exame gráfico da normalidade é interessante até certo ponto, pois apresenta certas limitações, sendo assim uma análise

critérioria exige a utilização de alguns métodos baseados em estatística descritiva como a assimetria, curtoses, homoscedacidade, linearidade além da utilização de métodos não-paramétricos.

Homoscedacidade: os dados são homoscedásticos quando a variância aparece constante ao longo do domínio de uma variável preditora. O contrário quando a variância flutua ou tem um erro crescente diz-se que são heterocedásticos. Este conceito pode ser aplicado em variáveis métricas. A heteroscedacidade pode ser remediada por meio da transformação correta dos dados.

Linearidade do modelo: a linearidade é uma suposição básica associada a quase todas as MDAs. Desta forma, é importante verificar esta propriedade, a fim de identificar os desvios antes que possam causar impacto na correlação. A maneira mais simples de se verificar as relações não lineares é observar o diagrama de dispersão simples ou múltiplo. Desta forma, ao examinar os resíduos, qualquer parte não linear será destacada.

Uma das ações corretivas para a linearidade e homoscedasticidade consiste na transformação de uma ou mais variáveis. Outra abordagem consiste na criação de novas variáveis para representar a porção não linear. De qualquer forma o *Belt* deve verificar os benefícios de executar a transformação dos dados. Neste sentido Hair *et. al.* (2010) recomenda um procedimento de tentativa e erros monitorados *versus* os ganhos das modificações adicionais. Essas transformações podem ser facilmente executadas nos pacotes computacionais disponíveis.

A necessidade de transformação de dados segundo Hair *et. al.* (2010) é justificável devido a razões teóricas e de natureza dos dados ou derivações deles para:

- a) corrigir violações das suposições estatística das técnicas;
- b) melhorar as correlações entre variáveis;
- c) corrigir possíveis erros relacionados à entrada de dados.

O erro de medida é o grau em que os valores observados não são representativos dos valores verdadeiros. Existem diversas fontes de variação que podem ser causadoras das imprecisões na entrada dos dados e escalas de medidas. Ao avaliar o grau de erro presente em qualquer medida, o *Belt* deve considerar a validade e confiabilidade da medida. A validade representa o grau com que uma variável representa aquilo que se espera. Para isso deve ser tão correta quanto possível. Se a validade estiver garantida é necessário considerar a confiabilidade das medidas que representa o grau em que a variável observada está livre de erros, assim é o oposto de um erro de medida, medindo a coesão das variáveis.

Em muitos casos o *Belt* se depara na fase de coleta de dados com um problema comum conhecido como dados perdidos. Este fato interfere na validade e confiabilidade das medidas. Este tipo de problema leva o *Belt* a ter que desenvolver a capacidade para lidar com esta situação, por meio de mecanismos capazes de reaver os dados e minimizar ocorrências futuras. **Impacto de dados perdidos:** os dados perdidos são informações indisponíveis de um caso sobre o qual outra informação está disponível em outros. Isto ocorre por diversos motivos entre eles a coleta incorreta dos dados. Os dados perdidos são prejudiciais não apenas por sua tendência “oculta”, mas também por seu impacto prático no tamanho da amostra. Erros sistemáticos na coleta e entrada dos dados é um exemplo clássico de dados perdidos. Neste caso o *Belt* deve verificar padrão de repetição que caracterizam um processo de dados perdidos. Se o processo de perda de dados não for aleatória deve-se utilizar um tratamento de modelagem especificamente planejado (MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010).

Segundo Hair *et. al.* (2010) é possível ignorar alguns dados perdidos por meio do uso de amostras aleatórias. Um tipo de dado perdido ignorável quando se trata de dados censurados, isso quer dizer que devido a alguma restrição, mesmo que desconhecida, pode gerar viés. De certa forma, o conhecimento do observador sobre o problema permite a ele tomar a decisão de ignorar os dados perdidos ou tratá-los se possível com alguma técnica disponível que permita minimizar os efeitos, ou corrigi-los se forem aleatórios. Para isso é imprescindível que o *Belt* examine os dados perdidos em busca de padrões de comportamento.

Para corrigir os dados perdidos o *Belt* deve verificar o grau de aleatoriedade presente nos dados perdidos além de seu impacto sobre os resultados. Um caminho proposto por Hair *et. al.* (2010) diz que os valores perdidos devem ser acomodados de maneira explícita no processo afim de não gerar tendências nos resultados. Uma forma de lidar com dados perdidos disponível é incluir somente os dados completos. Entretanto, um dos problemas associado é a redução de dados disponíveis o que reflete no tamanho amostral inadequado. Outra forma simples é eliminar os casos ou dados problemáticos. Neste sentido, o *Belt* determina a extensão dos dados perdidos e assim elimina os casos ou variáveis que o modelo conceitual permita. De maneira geral, o *Belt* deve considerar ganhos na eliminação de dados perdido, *versus* a eliminação de uma variável, já que a falta deste dado por ser prejudicial (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978; COX e SNELL, 1981; HAIR *et. a.*, 2010).

Outro procedimento usado para lidar com dados perdidos consiste na atribuição. A base deste método é atribuir valores para os dados perdidos de acordo com valores válidos de outras variáveis. Esta atribuição é um tanto quanto simples, de maneira

geral, pois com base nas relações conhecidas é possível estimar o valor perdido. Neste sentido, pode verificar as relações por meio de uma matriz de correlações e determinar os valores para os dados perdidos. Segundo Hair *et. al.* (2010) o método de atribuição é tão perigoso quanto atrativo. A questão de se tornar perigosa é devido ao fato que problemas secundários relacionados ao padrão da perda de dados podem ser mascarados. Outro aspecto importante do processo de atribuição é que as variáveis não-métricas não são atendidas e necessitam de um tratamento de modelagem específico.

A substituição de dados perdidos envolve a substituição de valores estimados em outras informações disponíveis da amostra. A substituição por um caso consiste na substituição da amostra, que pode ser empregado para substituir dados completamente perdido ou quantia menores de dados perdidos. A substituição pela média consiste em uma forma usual neste caso admiti-se que a média é um bom estimador de casos perdidos. Como vantagem destaca-se a facilidade de se adotar o método, e assim fornecer a todos os casos as informações completas. Entretanto, apresenta três desvantagens: primeiro a real distribuição dos dados fica comprometida; segundo comprime as correlações; terceira torna invalida as estimativas de variância (JOBSON, 1992; MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

A atribuição por regressão pode ser utilizado para prever os valores perdidos com base em conjunto de variáveis é um método promissor em níveis baixo de dados perdidos; amplamente dispersos; e no qual as relações entre as variáveis são suficientemente estabelecida e de certa forma se bem utilizado não compromete a generalidade dos resultados. As desvantagens de se utilizar esta técnica consistem em:

- a) reforça as relações presentes nos dados, isso diminui o grau de generalização;
- b) a variância da distribuição é subestimada;
- c) pressupõe relações substanciais entre as variáveis, caso esta condição não seja satisfeita é preferível a substituição pela média.

A atribuição múltipla consiste em um método de atribuição composto por uma combinação de diversos métodos. Desta forma, o uso de múltiplos métodos minimizam as preocupações específicas de cada método exposto. Sua escolha é baseada na percepção do *Belt* dos benefícios potenciais *versus* o esforço para aplicar e combinar as múltiplas estimativas. Os procedimentos baseados em modelos incorporam os dados perdidos ou por um processo especificamente planejado ou por parte de uma análise multivariada. Estas técnicas envolvem a estimação de verossimilhança que tentam modelar os processos inerentes aos dados fazendo previsões mais precisas. Este tratamento envolve a adição de dados

perdidos diretamente na análise como um subconjunto selecionado da amostra sendo mais bem utilizado em variáveis independentes de uma relação de independência.

Identificação de dados atípicos: outro aspecto relacionado à coleta de dados e a identificação de dados atípicos. Os dados atípicos apresentam características identificáveis e diferentes dos demais, não podem ser considerados como benéfica ou problemática, mas sim analisadas e avaliadas pelos tipos pelas informações que possam fornecer, sendo classificados em quatro tipos (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978):

- a) o primeiro é referente a um erro no procedimento de entrada dos dados ou uma falha na codificação das informações. Estes dados devem ser identificados na limpeza dos dados. E mesmo se isso permanecer deve ser eliminada ou registrada como valores perdidos;
- b) o segundo tipo é resultado de um evento extraordinário o que explica a peculiaridade das observações. Cabe ao *Belt* decidir, se a observação atípica deve permanecer no conjunto de dados, ou caso contrário ser eliminada. Entretanto, a eliminação indevida pode trazer prejuízos para o resultado;
- c) o terceiro tipo de observação atípica pode ocorrer na forma de um evento extraordinário e sem explicação pelo *Belt*. Neste caso, as observações devem permanecer se o *Belt* achar que isso é um segmento da população válida;
- d) a quarta e última classe diz respeito à observações que estão dentro de padrões aceitáveis de valores para uma variável. Entretanto, sua combinação de valores entre as variáveis é singular.

Apontar valores estranhos de certa forma é fácil. Porém a utilização de alguns procedimentos o torna eficiente. A detecção univariada identifica valores atípicos por meio de uma escala normalizada (zero de média e 1 de desvio padrão), para amostras com no máximo 80 observações, sugere-se verificar escores em módulo superiores 2,5 (HAIR *et. al.*, 2010). Quando o número de observações é superior a 80, deve-se considerar um escore em módulo superior a 3. Entretanto, recomenda-se cautela, pois tais valores podem ocorrer e não se tratar de valores atípicos. Já a detecção bivariada consiste em outra forma de se identificar observações atípicas. Neste caso utiliza-se a avaliação por pares de variáveis por meio de uma matriz de dispersão. Esse procedimento não elimina a necessidade do primeiro, porém o complementa (COX; GAUDARD; RAMSEY, 2009, FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. a.*, 2010).

A aplicação das MDAs como análise discriminante e regressão múltipla podem ser utilizadas para identificar observações atípicas. A detecção multivariada utiliza a medida D^2 de Mahalanobis para identificar dados atípicos, esta análise refere-se a uma medida de

distância em um espaço multidimensional, além de ser uma propriedade estatística para valores de significância. Uma postura conservadora é considerar um valor de 0,001 como significativo. Os dados atípicos devem permanecer a menos que demonstrem um comportamento fora do normal que não são representativos (MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

Relação entre significância estatística e poder estatístico: A maioria das MDAs está baseada em inferência estatística com exceção da análise de agrupamento e escalonamento multidimensional. Interpretar a inferência estatística requer que o *Belt* especifique um erro estatístico erro tipo I (α), desta forma determina-se a probabilidade de ocorrência do falso-positivo estabelecendo o nível de significância. Quando se especifica o erro tipo I o *Belt* determina o erro do tipo II (β) de maneira involuntária. O erro β e α são inversamente relacionados. Desta forma, quando o nível de significância ou erro α diminui o erro β aumenta.

O poder do teste de inferência estatística ($1 - \beta$) refere-se à probabilidade de rejeitar corretamente a hipótese nula quando esta deve ser rejeitada. Desta forma, não é apenas uma função α . Na verdade é determinado por três fatores:

- a) o tamanho do efeito; pode-se considerar que quando maior for a diferença entre os grupos mais fácil fazer afirmações sobre haver diferenças entre os grupos de amostras. Em relação à correlação o tamanho do efeito está baseado na real correlação entre as variáveis;
- b) o segundo fator é o erro tipo I, como apresentado anteriormente. Diretrizes convencionais sugerem um alfa entre 0,05 e 0,01;
- c) o tamanho da amostra é outro importante fator, quanto maior a quantidade de amostra sempre irá favorecer o poder do teste estatístico. Hair *et. al.* (2010) sugere trabalhar com um alfa em 0,05 e um poder em 80%, esta relação estabelece um tamanho de amostra adequado.

Esta seção demonstrou os principais pressupostos relacionada às MDAs. Este conhecimento sobre os pressupostos nos permite conduzir de maneira apropriada as análises. A próxima seção detalha as principais MDAs utilizadas nos projetos Seis Sigma.

4.3 Classificação das MDAs

Esta seção apresenta as principais MDAs, suas características, restrições, pressupostos e objetivos, demonstrando a versatilidade do uso destas técnicas como ferramentas para a melhoria da qualidade. As principais MDAs identificadas na literatura

aplicados às questões industriais são: Análise de Cluster, Análise de Componentes Principais, Análise de Regressão, Análise Discriminante, Análise Fatorial, Análise de Correspondência, Análise Multivariada de Variância, Análises Estruturais, *Graphical Multivariate Data Display*, *Multivariate Chart*, *Multivariate Process Control*, *Mahalanobis Taguchi System*.

Análise de Escalonamento Multidimensional e Análise de Correspondência são técnicas com características semelhantes à Análise Fatorial e Análise de Componente Principal. A aplicação da Análise de Correspondência está relacionada às situações nas quais exista interdependência entre as variáveis do tipo não-métricas, baseadas na subjetividade. Neste sentido, observa-se que a maioria das variáveis envolvidas, em problemas de manufatura, é de característica métrica e objetiva, além do fato destas técnicas não estarem diretamente relacionadas à abordagem Seis Sigma. Por esta razão não são aprofundadas nesta dissertação. Entretanto, tais características não impedem sua utilização em projetos Seis Sigma.

A aplicação da Análise Estrutural está relacionada a projetos de melhoria Seis Sigma. Entretanto, sua utilização é tida por alguns autores como sendo mais complexa se comparada com as demais técnicas abordadas neste trabalho, pois se utiliza medidas indiretas de avaliação denominadas constructos latentes. Desta forma, representa um passo a frente na utilização das análises básicas, já pouco difundida na indústria. Por este motivo sua aplicação não é aprofundada.

Algumas técnicas como *Graphical Multivariate Data Display*, *Multivariate Chart*, *Multivariate Process Control*, *Mahalanobis Taguchi System* estão relacionadas ao controle do processo. O escopo deste trabalho não prevê a aplicação das MDAs como ferramenta para controle de processo. Portanto, as aplicações destas técnicas não são aprofundadas neste trabalho. Esta decisão não se deve à importância destas técnicas para o processo de melhoria, pois se observa a relevância da aplicação destas técnicas com esta finalidade. Entretanto, a proposta deste trabalho é discutir os fatores críticos para identificar e eliminar as causas da variabilidade por meio das MDAs. Este capítulo apresenta as principais MDAs utilizadas para identificar as causas da variabilidade do processo e produtos relacionados à abordagem Seis Sigma. O Quadro 4.1 apresenta as principais MDAs relacionadas a projetos Seis Sigma.

Quadro 4. 1 — MDAs Utilizadas no Seis Sigma

FASES DO DMAIC	TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS UTILIZADAS NOS PROJETOS SEIS SIGMA
DEFINIR	Data Mining
MEDIR	<i>Graphical Multivariate Data Display</i> <i>Multivariate Chart</i> <i>Data Reduction</i>
ANALISAR	<i>Graphical Multivariate Data Display</i> <i>Multivariate Chart</i> <i>Data Reduction</i> Análise Discriminante Análise Fatorial Análise De Cluster Análise Estrutural Análise De Componente Principal
MELHORAR	<i>Data Reduction</i> Análise Estrutural
CONTROLAR	<i>Multivariate Process Control</i> <i>Mahalanobis Taguchi System</i>

Fonte: YANG, 2004

As técnicas descritas na literatura como MDA correspondem a um conjunto grande de técnicas estatísticas. Neste sentido, este trabalho limita-se a abordar algumas MDAs, apresentadas na próxima seção, consideradas básicas, pois podem auxiliar a desenvolver uma ampla gama de projetos de melhoria.

4.3.1 Análise de Cluster

Análise de cluster é um método estatístico multivariado exclusivo, pois não existe um correspondente univariado que identifica grupos ocultos em um grande número de objetos com base em suas características. Na análise de cluster, o número de grupos é determinado pela análise. Por esta razão é uma ferramenta que exige do *Belt* um suporte conceitual elevado sobre o processo estudado, pois geralmente o uso desta técnica está relacionado com problemas de caráter descritivo ou exploratória, mas dificilmente confirmatório. Isto porque, não apresenta base teórica que possibilite fazer inferência sobre os resultados, o uso desta técnica de forma confirmatória exige a necessidade de bases teóricas referente ao problema estudado que seja forte o suficiente para suportar os resultados (YANG; TREWN, 2004; MANLY *et. al.*, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

Segundo Manly (2008) o interesse da análise de cluster está em encontrar similaridade entre os indivíduos ou variáveis estudadas para classificá-los em grupos. A análise de cluster tem sido utilizada como um meio de reduzir dados, pois demonstra ao *Belt* a formação de subgrupos presentes na amostra. Outro uso comum desta análise está na geração e validação de hipóteses por meio da observação dos comportamentos dos elementos (JOBSON, 1992; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010). A análise de cluster agrupa objetos (produtos, respondentes, entidades) de maneira a aproximar os semelhantes de acordo com as variáveis definidas pelo *Belt*. Desta forma, os elementos são alocados no grupo no qual a observação apresenta características semelhantes. Por sua versatilidade seu uso como método de pesquisa pode ser observado nas mais diversas áreas do conhecimento como, Psicologia, Sociologia, Economia, Engenharia e Administração (HAIR *et. al.*, 2010). Para alcançar o objetivo de agrupar as observações segundo sua semelhança, deve-se observar três questões básicas:

- a) selecionar as variáveis;
- b) como formar os grupos;
- c) quantos grupos deveram ser formados.

A análise de cluster pertence ao grupo das MDAs, cuja finalidade é agrupar objetos de acordo com suas próprias características métricas. Para isso utiliza um conjunto de variáveis que representam as características empregadas para confrontar a alocação dos objetos no cluster. Sendo assim supõe-se que cada variável é igualmente importante e a generalização dos resultados depende das variáveis selecionadas. Portanto a seleção ou a eliminação de variáveis ilegítimas podem causar vieses sobre os grupos resultantes (MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et.al.*, 2010).

Existem diversos algoritmos para compor agrupamentos, porém não existe o melhor método, pois tais métodos produzem resultados diferentes. Entretanto, estes métodos têm muito a oferecer quando os grupos forem distintos. Assim fica evidente a necessidade do *Belt* selecionar variáveis com poder de discriminação. Outro importante critério relacionado à formação dos grupos é que a análise de cluster criará grupos, independente de sua existência real. Desta forma, o *Belt* poderá encontrar grupos que podem não existir. Portanto, apenas as bases conceituais dos problemas estudados devem ser potencialmente significantes e relevantes. Os resultados efetivos da análise de cluster são frutos da seleção das variáveis apropriadas baseadas em considerações teóricas, conceituais e práticas, pois é possível formar grupos mesmo com variáveis impróprias.

Duas abordagens são utilizadas na formação de grupos na análise de cluster, ambas utilizam medidas de distância como medida de similaridade entre os objetos. A primeira abordagem utiliza técnicas hierárquicas que produzem dendogramas. Por meio de um processo de aglomeração ou divisão todos os objetos começam em um único grupo, os semelhantes são alocados próximos enquanto os mais distintos são alocados em outros grupos. A segunda abordagem envolve a partição dos objetos de forma que estes se movam para dentro e para fora de grupos em diferentes estágios da análise. Este processo continua de forma interativa até que seja obtida a estabilidade de acordo com o número de grupos definidos pelo *Belt*. A condução da análise de Cluster é dividida em seis estágios.

Estágio 1: definição dos objetivos de pesquisa. Segundo Hair *et. al.* (2010) o processo de condução de uma análise de cluster envolve um conjunto de seis estágios. O primeiro estágio consiste na definição dos objetivos de pesquisa. O objetivo da análise de cluster é dividir um conjunto de objetos em grupos geralmente dois ou mais. Para formar grupos homogêneos pode-se desenvolver por três mecanismos: por meio de uma observação prática (taxonomia); pela definição de estrutura entre os elementos; por meio da identificação das relações existentes entre os elementos.

Estágio 2: projeto de pesquisa em análise de agrupamentos. Nesta fase deve ser observado: o tamanho amostral adequado; verificar a existência de observações atípicas; mecanismos para avaliar a similaridade dos objetos estudados; padronização dos dados. O tamanho amostral ao contrário das demais MDAs, não está relacionado à inferência estatística. Entretanto, a amostra deve ser suficiente para representar pequenos grupos. Portanto amostras maiores aumentam a chance da representatividade de grupos pequenos. A detecção de dados atípicos está relacionada ao tamanho amostral bem como a seleção das variáveis apropriadas para análise. Estas observações podem representar indivíduos que realmente não pertençam à população amostral; uma sub-amostras de grupos reais da população e observações representativas de segmentos pequenos ou insignificante da população, é um método de validação dos resultados.

O conjunto amostral deve apresentar similaridade, pois é essencial para a análise de cluster esta medida representar a correspondência ou semelhanças entre os objetos a serem agrupados. As medidas de similaridade geralmente aceita são as distâncias. Na verdade são medidas de dissimilaridade, pois valores maiores representam menor similaridade. Embora simples, existem diversas medidas de distância, cada qual com característica e finalidade específica. Recomenda-se usar diferentes medidas de distância para comparar com os padrões teóricos. Segundo Hair *et. al.* (2010) a semelhança ou distância

entre os conjuntos de observação são considerada em vários problemas multivariados. A distância euclidiana é frequentemente usada em observações individuais. Entre os problemas multivariados as medidas de distância utilizadas são as distâncias de Penrose e D^2 Mahalanobis que leva em consideração as correlações existentes. A distância de Mahalanobis é a mais adequada quando as variáveis estão correlacionadas de maneira positiva ou negativamente, pois explica as correlações entre as variáveis de uma forma que as pondera igualmente cada uma delas.

A padronização dos dados representa outro aspecto importante da análise de cluster, pois o *Belt* deve estar consciente de seus efeitos refletidos principalmente no escalonamento das variáveis. A decisão de padronizar os dados deve estar baseada em atender a questões empíricas e conceituais relevantes para o objetivo da pesquisa. Este conceito pode ser dividido em padronização das variáveis e das observações. A forma mais comum de padronizar as variáveis é a por meio da transformação em um escore *Z*. Geralmente isto já está incluído na análise de cluster da maioria dos pacotes dos *softwares* estatísticos. Desta forma, a padronização das variáveis elimina os efeitos devido às diferenças de escala entre as variáveis e ao longo da mesma. Além disso, a padronização das observações é uma forma de controlar a população estudada o que permitirá aperfeiçoar a formação dos grupos. Quando busca-se formar grupos por meio da identificação dos padrões de resposta, não se recomenda aplicar o escore *Z*, pois será minimizada a característica que diferencia os grupos definidos pelo *Belt* (JOBSON, 1992; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

Estágio 3: o terceiro estágio da análise de cluster refere-se às suposições. A análise de cluster não corresponde a um teste inferencial. Desta forma, as características das amostras são representativas da população. Portanto o *Belt* deve estar convicto de que as amostra selecionadas são representativa da população estuda para permitir a generalização dos resultados. Um dos pressupostos desta análise refere-se ao impacto das observações atípicas na representatividade dos resultados. O *Belt* deve estar ciente destas observações para ajuizar-se e selecionar a melhor forma de lidar com esta situação, seja por um processo de transformação de dados, ou refinamento teórico, no caso de representar um subgrupo, negligenciada inicialmente pelo *Belt* (MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010).

Por ser uma técnica não inferencial, pressupostos como NM, linearidade e homocedasticidade, apresentam uma relevância menor para esta análise. Desta forma, o *Belt* deve se preocupar apenas com a representatividade da amostra e o impacto da multicolinearidade. O impacto da multicolinearidade afeta de maneira geral todas as MDAs, pois atuam com uma máscara que dificulta entender o comportamento dessas variáveis.

Portanto é recomendável ao *Belt* examinar este fenômeno a fim de reduzir seus efeitos (JOBSON, 1992; HAIR *et. al.*, 2010).

Estágio 4: determinação de agrupamentos e avaliação do ajuste geral. Para determinar o agrupamento o *Belt* necessita escolher o procedimento de partição adequado e decidir o número de agrupamentos a serem formados. Essas decisões proeminentes afetam não apenas os resultados como também suas interpretações. Os procedimentos de partição são classificados como hierárquicos, não-hierárquicos, e o procedimento “combinado” denominado assim por se tratar da combinação dos procedimentos hierárquicos e não-hierárquicos.

Nos procedimentos hierárquicos cada observação corresponderá inicialmente a um grupo unitário. Depois estes grupos unitários são rearranjados em pares. Este processo adiciona novos elementos ao grupo de forma contínua por meio de medidas de similaridade para formar os conjuntos de observações parecidas até o ponto em que todas as observações estejam contidas em um único grupo. Os procedimentos não-hierárquicos requerem uma especificação previa do número de grupos definidos de forma empírica e ou conceitual pelo *Belt*.

Estes procedimentos apresentam vantagens e desvantagens. Neste sentido, o procedimento combinado corresponde a um método que busca maximizar os benefícios dos procedimentos apresentados. Este procedimento é amplamente aconselhável pelos especialistas, devido ao procedimento hierárquico determinar a quantidade de agrupamentos e por caracterizar o centro dos agrupamentos. Desta forma, é possível utilizar esta informação em um método não-hierárquico para gerar alocações mais precisas.

Estágio 5: interpretação dos agrupamentos. O Procedimento de agrupamento leva em consideração a confirmação da teoria existe ou a uma descrição do comportamento de determinados grupos da população estudada. Além disso, os agrupamentos formados fornecem uma forma de avaliar a correspondência e sua significância prática.

Estágio 6: validação e perfil dos agrupamentos. Por se tratar de uma análise subjetiva, o *Belt* deve conduzir sua validação com base na significância prática da solução final. Desta forma, a seleção de sub-amostras, podem representar a replicação dos resultados.

4.3.2 Componente Principal

A análise de componente principal foi descrita inicialmente por Karl Pearson em 1901. Esta técnica consiste em simplificar as variáveis no modelo. Nesta técnica são constituídas combinações lineares das variáveis originais, que de maneira objetiva fornece

índices que expressam a principais variações. Muitos problemas industriais são multivariados, e há uma abundância de casos nos quais os dados são de natureza correlacionada, sendo que as estruturas desses fatores ocultos podem ajudar a encontrar as causas da variação.

A redução de dados auxilia na extração de um pequeno número de fatores ocultos de uma enorme quantidade de dados multivariados, e esses fatores representam a maior parte da variação (YANG; TREWN, 2004; MANLY, 2008). A fórmula é dada pela equação:

$$Z_1 = a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1p} x_p$$

$$Z_2 = a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2p} x_p$$

⋮

$$Z_n = a_{n1} x_1 + a_{n2} x_2 + \dots + a_{np} x_p$$

sendo:

(x_1, \dots, x_p) variáveis independente;

a: são os autovetores.

(Z_1, \dots, Z_n): são os componentes principais.

Este método também é conhecido por Fator Comum de Análise. O objetivo é encontrar um caminho de condensar informações contidas em um grande número de variáveis originais. É razoável que 20 variáveis sejam expressas por dois ou três componentes principais de acordo com o modelo conceitual. Desta forma, quando esta técnica é aplicada existe a esperança de que algumas variáveis possam ser desprezadas (JOBSON, 1992; MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010).

4.3.3 Análise Discriminante

A Análise Discriminante Múltipla é uma técnica multivariada exclusiva, pois não existe técnica univariada semelhante que classifica os objetos individuais ou unidades em grupos pré-definidos, aplicada em uma única variável dependente de característica não-métrica e multicotônica. Ao contrário da análise de cluster o número de grupos e os nomes dos grupos devem ser conhecidos antes do início da análise. Esta técnica refere-se à possibilidade de separar os indivíduos em grupos com base nas variáveis disponíveis. Além disso, a participação dos elementos dentro do grupo deve ser exclusiva, e os grupos capazes de particionar o conjunto da população (YANG; TREWN, 2004, MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009).

Análise discriminante é um método que classifica os objetos estudados em grupos baseado nos valores das variáveis de cada objeto, busca-se classificar os elementos em grupos pré-definidos por meio do desenvolvimento de uma função discriminante. É aplicado em situações nas quais há muitos objetos individuais e cada objeto tem diversas variáveis associados. Toda a população de objetos pode ser particionada em vários grupos com os valores das variáveis fortemente relacionadas com o grupo ao qual o objeto pertence (YANG; TREWN, 2004).

Esta função possibilita ainda determinar as variáveis com maior poder de classificação e o modelo gerado possibilita determinar a qual grupo uma posterior observação pertencerá. Esta técnica funciona como teste de hipótese predizendo a qual grupo determinado elemento estudado pertence. Por se tratar de um teste de hipótese a significância estatística se da pela avaliação da distância entre os elementos estudados e o centro do grupo. Desta forma, quanto mais coeso forem os elementos que pertencem ao grupo, ou seja, a distância entre a média do centro do grupo e o elemento estudado for pequena, mais alta será a significância estatística.

Análise discriminante múltipla é baseada em duas suposições básicas: a primeira é que a matriz de covariância dentro do grupo populacional deve ser igual; e a segunda diz respeito à necessidade da NM para testar a significância estatística (JOHNSON e WICHERN, 1982).

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1p} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & \dots & c_{pp} \end{bmatrix}$$

sendo:

C_{ij} a covariância entre a variável i e a variável j
 p é o número de variáveis em questão

Violações destas suposições podem acarretar problemas. Por outro lado, violações em uma ou ambas das suposições não significa a necessidade de abandonar este método, pois este procedimento mostra-se robusta e aceita pequenos desvios. Além das satisfações das suposições outro problema na condução desta análise está na seleção adequada do conjunto de variáveis para compor o modelo. Assim o desenvolvimento do modelo conceitual é importante, pois é interessante selecionar variáveis com poder de classificação, já que as utilizações de variáveis extras ou menos importantes não representam um melhor poder de discriminação.

O primeiro estágio para o desenvolvimento da análise discriminante consiste na seleção dos objetivos, que podem ser: determinar se existe diferença estatística significativa entre os grupos; verificar quais variáveis apresentam maior poder de classificação; estabelecer as dimensões discriminantes entre os grupos formados; estabelecer o método para a classificação dos elementos posteriores. No segundo estágio o *Belt* necessita selecionar as variáveis independentes e a variável dependente. O *Belt* deve considerar em primeiro lugar determinar a variável dependente que necessariamente deve apresentar características excludentes e distintas que podem ser subdividida.

As variáveis independentes geralmente são selecionadas de duas maneiras: a primeira refere-se a uma pesquisa previa do modelo teórico; a segunda forma de seleção corresponde à intuição do *Belt*. Neste sentido as técnicas de *brainstorm* e Diagrama de causa-e-efeito auxiliam na identificação das variáveis independentes mais relevantes que podem se confirmar com poder discriminante ou não. A questão fundamental é encontrar as variáveis-chaves que podem discriminar grupos com base em seus valores (YANG; TREWN, 2004).

Selecionada as variáveis que ingressam no modelo, é necessário observar o tamanho amostral, pois como todas as MDAs, a análise discriminante é afetada pelo tamanho da amostra. A amostra inicial deve ter tamanho suficiente, geralmente uma parte da amostra inicial é usada para desenvolver os critérios discriminantes. Portanto o *Belt* deve saber o grupo ao qual pertence cada objeto selecionado, para obter os valores de variáveis independentes para cada objeto. Esta parte da amostra inicial é muitas vezes chamada à amostra de análise. A parte restante da amostra inicial é muitas vezes usada para validar os critérios discriminantes e estimar os erros de classificação (JOBSON, 1992; YANG; TREWN, 2004; HAIR *et. al.*, 2010).

Como regra geral, a quantidade amostral deve ser de 20 observações para cada subgrupo pertencente à variável independente. Todavia, à possibilidade de limitações práticas, pode-se utilizar um limite mínimo de 5 observações por subgrupo da variável independente. Outra característica referente ao tamanho da amostra é o efeito negativo nos resultados causado por quantidade diferente de observações nos subgrupos. Portanto deve existir um número próximo de observações entre os subgrupos para não impactar nos resultados (YANG; TREWN, 2004; HAIR *et. al.*, 2010).

O terceiro estágio refere-se às satisfações das suposições estatísticas referentes à análise. A suposição-chave para determinar a função discriminante está baseada na NM. Violar esta regra compromete o resultado, assim o *Belt* deve considerar a utilização de métodos alternativos como regressão *logit*, já o efeito da multicolinearidade pode representar

uma dificuldade na interpretação das variáveis; como em qualquer outra MDA, presume-se que as variáveis se relacionam de forma linear. A análise discriminante e a análise *logit* apresentam o mesmo objetivo analítico e apresentam as mesmas restrições quanto ao tipo de variáveis permitidas. Desta forma, é exigência que as variáveis independentes sejam métricas e a variável dependente do tipo categórica. A priori, o que diferencia essas duas técnicas é a quantidade de categorias permitidas na variável dependente. A análise *logit* é limitada a duas categorias, já a análise discriminante é indicada para um número maior de categorias. A função discriminante é dada pela equação:

$$Z_n = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

sendo:

Z = variável dependente

α = Constante

β = Vetor de coeficientes discriminantes para cada variável explicativa.

X = Vetor das variáveis explicativas.

O quarto estágio na condução da análise discriminante consiste na estimação do modelo e a avaliação do ajuste geral. Existem dois métodos para estimar os parâmetros do modelo: o método simultâneo (direto) e o *stepwise*. A estimação simultânea, como o próprio nome sugere, analisa todas as variáveis juntas o que permite que seja calculado o conjunto inteiro das variáveis sem considerar o poder discriminatório individual. Este método é recomendado quando o *Belt* não está interessado em resultados intermediários. A estimação *stepwise*, ao contrário do método simultâneo, envolve a inclusão das variáveis independentes na função discriminante com base no seu poder discriminatório, sendo útil quando o interesse é acrescentar no modelo apenas as variáveis com alto poder discriminante.

Com o modelo estimado busca-se avaliar o ajuste geral por meio da significância estatística cuja finalidade é refletir a diferença entre os subgrupos pertencentes à variável dependente. O critério de significância convencional é de 0,05 podendo ser extensível até 0,10, dependendo da quantidade e coesão amostral. Verificado a significância estatística, o *Belt* deve-se preocupar com a interpretação dos resultados. Este procedimento refere-se ao quinto estágio da análise. Este processo envolve o exame da função discriminante a fim de verificar a importância de cada variável independente na discriminação dos grupos. O exame da importância da variável independente deve considerar além da carga o sinal que indica o tipo de relação existente. A importância de uma variável independente pode ser observada por meio de seu índice. Desta forma, índices maiores representam variáveis

independentes importantes. Ao passo que menores índices correspondem a variáveis pouco representativas para a discriminação dos grupos.

O último estágio da análise discriminante envolve a validação dos resultados o que permitirá a generalização dos resultados. Geralmente os procedimentos de validação envolvem em muitos casos a utilização de uma amostra de teste, isto permite verificar o quão bem a função discriminante funciona. A validação cruzada é outro procedimento sensível a amostras pequenas sendo empregado apenas quando o tamanho do grupo for menor ou pelo menos três vezes o número de variáveis independentes.

4.3.4 Análise Fatorial

A Análise Fatorial foi resultado dos trabalhos de Charles Spearman 1904, este método tem objetivo similar à análise de componente principal. Pois as saídas desta análise são um conjunto de variáveis homogêneas agrupadas por fator. A idéia básica desta técnica é descrever um conjunto de variáveis por meio de um número menor de fatores e assim obter uma melhor compreensão do relacionamento das variáveis. No entanto, a ênfase na análise fatorial é relativa à identificação dos fatores subjacentes que podem explicar as mútuas relações correlativas. O conjunto de dados para análise fatorial é essencialmente o mesmo que para análise dos componentes principais (MANLY, 2008). A Análise Fatorial é dada pela equação:

$$X_i = a_i F + \epsilon_i$$

sendo:

X é o escore da variável analisada,
F é a variância comum,
ε é um componente aleatório,
a é uma constante.

O quadrado de a representa a proporção da variância de X explicada pelo fator comum. É denominada de comunalidade. De outro modo, a é denominada de carga fatorial (*loading*), é uma medida de correlação entre as variáveis originais e os fatores.

Entretanto na análise dos componentes principais, existem p componentes; na análise fatorial se está normalmente interessados apenas nos primeiros poucos componentes principais que explicam a maior parte das variações. Na análise fatorial há dois tipos de modelos de fator: uma é a análise dos componentes principais, o outro é a análise de fator comum. Portanto se o interesse é extrair os fatores ocultos que contribuem para a maior parte

da variação, é necessário escolher a análise dos componentes principais. Por outro lado se o objetivo é extrair os fatores ocultos que explicam a maior parte das inter-relações entre variáveis, e necessário escolher o método de análise de fator (YANG; TREWN, 2004; MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010).

Estes fatores são dimensões representadas por um conjunto de variáveis altamente correlacionadas. Portanto o *Belt* deve observar visualmente a correlação entre as variáveis e identificar o que é realmente significativo. Desta forma, estabelecida a significância prática os fatores podem ser considerados como novas variáveis (YANG; TREWN, 2004; MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

A Análise Fatorial é uma técnica estatística versátil que pode ser utilizada como ferramenta de pesquisa e também pode ser utilizada em conjunto com outras técnicas contribuindo para a compreensão dos dados. Portanto seu desígnio não se trata da exclusão de certas variáveis ou apontar a representatividade, mas sim considerar as correlações existentes entre as variáveis. Podendo ser utilizada como ferramenta em pesquisas de caráter exploratória ou confirmatória. No sentido de ser exploratória ajuda na redução dos dados. Ao passo que pode ser utilizada de maneira confirmatória quando se trata da validação de hipóteses (JOBSON, 1992; HAIR *et. al.*, 2010).

Independente do caráter da pesquisa esta técnica não é tão objetiva quanto às demais técnicas estatísticas por envolver uma subjetividade na formação dos fatores, já que a quantidade de fatores irá depender do observador. Todavia seus resultados contribuem para estabelecer a compreensão sobre a estrutura de dados multivariados. Para propiciar uma compreensão válida das relações entre variáveis é necessária a condução adequada desta técnica. O desenvolvimento de uma análise fatorial envolve três decisões básicas:

- a) o calculo dos dados de entrada que permita atender aos objetivos especificados de agrupamento;
- b) selecionar um número correto de variáveis bem como os tipos de variáveis admissíveis;
- c) o número de amostras que é função do número de variáveis.

Para o desenvolvimento desta análise o *Belt* pode utilizar variáveis métricas e não métricas. Com relação ao tamanho amostral recomenda-se como regra geral que a quantidade de observações deva ser no mínimo 5 vezes a quantidade de variáveis, o ideal seria algo como 10 vezes. Entretanto, alguns autores preferem adotam uma postura conservadora ao recomendar algo como 20 vezes (BASILEVSKY, 1994; HAIR *et. al.*, 2010).

Além de selecionar o número de observações e o tipo de variável válida a condução apropriada desta análise envolve ainda a satisfação de questões conceituais que

pressupõe a existência de uma estrutura subjacente no conjunto de variáveis escolhidas. Outra importante suposição conceitual refere-se à homogeneidade das amostras. Desta forma, deve considerar a coesão das observações, pois sub-amostras podem ser refletidas em vieses. Portanto em uma pesquisa que se utiliza questões relacionadas a sexo, por exemplo, as sub-amostras homens e mulheres podem causar distorções (HAIR *et. al.*, 2010).

Satisfeita as suposições conceituais o *Belt* deve se preocupar com as restrições estatísticas como, os desvios da normalidade, homocedasticidade, variância e linearidade, somente se elas diminuem as correlações observadas. O próximo passo é verificar se as variáveis são correlacionáveis a pondo de gerar fatores, os métodos de análise fatorial estão interessados na melhor combinação linear de variáveis. Desta forma, o primeiro fator formado pode ser como o melhor resumo de relações lineares. O segundo fator como o segundo melhor, e assim por diante.

A definição do número de fatores considerado na análise é de responsabilidade do *Belt*. Desta forma, uma questão importante a ser respondida refere-se ao número de fatores formados. Regra geral o *Belt* deve considerar mais de um critério para determinar a quantidade de fatores. Um problema comum é considerar um número exagerado de fatores, isso compromete a interpretação dos dados. Entretanto existem alguns critérios que ajudam na seleção do número de fatores apropriado, são eles:

- a) raiz latente: este método considera que apenas os autovalores ≥ 1 sejam considerados como significante, é recomendada esta técnica quando o número de variáveis estiverem entre 20 e 50;
- b) critério *a priori*: neste método o *Belt* já tem em mente o número de fatores a ser formado;
- c) critério de porcentagem de variância: está é uma abordagem baseada na conquista no significado prático dos fatores e que estes expliquem um montante de variação. De certa forma este montante ira depender basicamente da qualidade dos dados, porém de maneira geral deve-se considerar no mínimo 60% da variação total;
- d) critério do teste de *scree*: é utilizado para identificar o número ótimo de fatores com base no critério de estabilização dos autovalores, este método permite um número maior de fatores que o critério de raiz latente.

Segundo Hair *et.al.* (2010), depois de formado os fatores a base conceitual solida sobre o problema representa para o *Belt* uma chance maior de interpretar os resultados com sucesso. Entretanto o refinamento de tais resultados fornece uma melhor compreensão dos fatores formados. Este processo de interpretação fatorial pode ser dividido em:

- a) estimativa da matriz fatorial – este processo consiste na observação da carga fatorial que indicam a correlação de cada variável para a formação do fator, essas cargas são meios de se interpretar contribuição da variável na formação de cada fator;
- b) rotação de fatores - Soluções fatoriais não-rotacionados não atingem o resultado de redução de dados, além disso, fatores rotacionados satisfazem a interpretação pela redução das ambigüidades;
- c) interpretação e reespecificação de fatores. Desta forma, o *Belt* pode eliminar uma ou mais variáveis do modelo e ainda reespecificar o número de fatores ou método de extração de fatores o que muitas vezes o leva ao estágio anterior.

A rotação de fatores são as ferramentas mais importantes da interpretação da análise preliminar, pois simplificam as linhas e colunas da matriz fatorial. Qualquer método de rotação deve levar em conta a carga dos fatores devem estar próxima a zero ou muito diferentes de zero. Um método para calcular os escores de fator para indivíduos está baseado nos componentes principais. A rotação dos fatores pode ser classificada em oblíquas ou ortogonais. Na rotação ortogonal, novos fatores não são correlacionados com os fatores provisórios. Os métodos de rotação ortogonal muitas vezes são chamados de rotação varimax. Já a rotação oblíqua relaciona com os fatores provisórios.

Métodos De Rotação Ortogonais - Quartimax: Concentra-se na simplificação das linhas, este método não se mostra eficiente na produção de estruturas mais simples, sua principal dificuldade é gerar um fator inicial como o primeiro fator na qual a maioria das variáveis, se não todos, apresentam cargas altas. **Varimax:** Não existe uma regra básica para a seleção dos métodos rotacionais. Entretanto, o método mais aceito é a rotação Varimax que se concentra na simplificação das colunas, este método maximiza a soma das variâncias fornecendo uma interpretação mais clara dos fatores. **Equimax:** apresenta um meio termo entre as outras duas abordagens. Entretanto, os autores salientam que este método é pouco utilizado. **Métodos de rotação oblíqua:** São semelhantes às ortogonais, entretanto sua diferença básica consiste na concessão dos fatores correlacionados. Sua limitação refere-se à disponibilidade nos pacotes computacionais estatístico. O autor alerta para a perda de generalização, particularmente devido ao número pequeno de observações e proporção de casos por variáveis.

Julgamento da significância prática: seu propósito principal é definir a estrutura inerente entre as variáveis na análise por meio das cargas fatoriais. As cargas fatoriais $\pm 0,30$ a $\pm 0,40$ atendem a um nível mínimo para a interpretação das estruturas. $\pm 0,5$ são tidas como praticamente significantes. As cargas que excedem $\pm 0,7$ são a meta de

qualquer análise fatorial. O *Belt* deve reconhecer que cargas $\geq \pm 0,8$ não são comuns e que isso pode ser indício de problemas com os dados (JOBSON, 1992; MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

4.3.5 Componentes de Variância

A técnica apropriada para analisar a diferença entre dois grupos é a estatística t. Já o procedimento apropriado para o caso multivariado é a estatística do T^2 de Hotelling. Entretanto em muitos casos o *Belt* busca encontrar diferenças entre três ou mais grupos. Desta forma, o procedimento univariado apropriado é a análise de variância ANOVA. Já no caso multivariado o procedimento indicado Análise Multivariada de Variância (MANOVA) sendo considerada uma extensão dos métodos univariados para avaliação de diferenças entre grupos. Os procedimentos univariados não são assim considerados pelo número de variáveis independentes mais sim pelo número de variáveis dependentes. A ANOVA é uma técnica empregada para testar hipóteses de igualdade entre os grupos, sob a suposição de que as populações de amostra são normalmente distribuídas

Existem muitas semelhanças entre uma ANOVA e sua versão multivariada a MANOVA. Entretanto, a principal diferença é que quando cada item estudado tem apenas uma variável para ser comparada, este pode ser tratada por ANOVA. Já quando cada item possui mais do que uma variável, é considerado como um típico problema de comparações múltiplas de várias características, e terá que ser analisado por uma MANOVA (YANG; TREWN, 2004; ALBEANU; HUNTER; RADFORD, 2010; HAIR *et.al.*, 2010).

A Análise Discriminante apresenta grande semelhança com a MANOVA, pois compartilham os métodos de formação das variáveis e significância estatística. Entretanto pode-se considerá-la como uma imagem refletida, pois as variáveis dependentes na MANOVA são de característica métricas, já as variáveis independentes são do tipo não-métrica, ou seja, o inverso da análise discriminante. Outra característica referente à MANOVA é que esta técnica admite escolher um projeto mais complexo de pesquisa que utiliza qualquer quantidade de variáveis não-métricas para constituir os subgrupos, e então identificar as diferenças estatísticas significantes da variável dependente. Devido a essas características o desenvolvimento eficiente desta análise envolve alguns estágios:

O primeiro do estágio para o desenvolvimento de uma análise de dados MANOVA refere-se ao desenvolvimento dos objetivos a serem estudados, geralmente busca-se evidencia de diferenças entre os grupos. A seleção desta técnica relacionada a uma situação de dependência concebida por diferenças em um aglomerado de medidas dependentes ao

longo de uma série de grupos constituídos por uma ou mais medidas independentes peremptórias. A MANOVA deve ser adotada quando o objetivo da investigação for examinar a diferença geral entre diversas medidas dependentes (subgrupos) imperceptíveis para os testes univariados. Portanto sua aplicação fornece dimensões que marcam melhor as diferenças entre os grupos.

O segundo estágio do desenvolvimento do projeto de pesquisa utilizando a MANOVA refere-se à seleção do tamanho amostral adequado já que isto pode impactar negativamente nos resultados. O tamanho geral da amostra está intimamente relacionado a número de grupos, pois a quantidade de observações pertencentes ao grupo deve ser maior a quantidade de variáveis independentes. Se o número de variáveis dependentes aumenta proporcionalmente em relação à quantidade de observações, a mesma deverá acompanhar este crescimento e ainda recomenda-se trabalhar com o mesmo número de amostras por grupo (JOBSON, 1992; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

O terceiro passo é referente às suposições da MANOVA, pois este teste só terá validade estatística se respeitar o critério de NM e de igualdade de variância entre os grupos. Outra suposição refere-se à independência dos grupos em relação à aos valores da variável dependente, portanto um elemento estudado poderá apenas participar de um grupo. A violação com maior impacto desastroso para uma análise de MANOVA consiste na falta de independência entre as observações. Isto significa que haver relações entre os grupos que ao menos pela concepção teórica não faz sentido existir.

Violações destas suposições apresentam impacto mínimo desde que os grupos apresentem o mesmo tamanho. Com relação à normalidade deve-se respeitar a necessidade da NM das variáveis dependentes. Seu impacto é menor em amostras grandes. Entretanto se for necessário pode-se por meio de um processo de transformação dos dados corrigirem a maioria dos problemas de normalidade. Também neste sentido o *Belt* deve estar atento a problemas relacionados à linearidade e multicolinearidade entre as variáveis dependentes.

O quarto estágio consiste na estimação e avaliação do ajuste geral do modelo. A forma tradicional de calcular as estatísticas de teste MANOVA foi estabelecida a mais de 70 anos. Nos últimos anos o Modelo Linear Geral (GLM) composto por três elementos ganhou popularidade entre os praticantes para a estimação de modelos:

- a) variável explicativa - É referente à combinação linear das variáveis independentes com pesos estimados que represente a contribuição das mesmas para o valor da variável dependente;

- b) componente aleatória - A distribuição das probabilidades considerada para as variáveis dependentes são a normal de Poisson, Binomial e Multinomial associada a uma variável resposta;
- c) função de ligação - Representa a conexão teórica entre a variável e o componente aleatório para ajustar as diferentes combinações do modelo.

O quinto estágio consiste na interpretação dos resultados da MANOVA. Assim que a significância estatística e os tratamentos apropriados sejam executados a atenção do *Belt* se volta para a interpretação dos resultados por meio da avaliação de quais variáveis dependentes marcam as diferenças entre os grupos. O teste de MANOVA permite rejeitar a hipótese nula de que os grupos são iguais porém não possibilita com clareza determinar quais as diferenças significantes quando há mais de dois grupos devido a possíveis interações entre as variáveis independentes. O estágio seguinte consiste na validação dos resultados; o principal meio para validação dos resultados consiste na repetição dos procedimentos.

4.3.6 Regressão Múltipla

A análise de regressão múltipla é uma técnica de dependências que pode fornecer previsões e explicações ao *Belt* por meio do desenvolvimento de modelos matemáticos. Possível de ser aplicado em problemas de caráter confirmatórios, descritivos ou combinatórios. A especificação confirmatória apesar de simples é um tanto exigente, pois geralmente envolve erros de omissão e inclusão de variáveis. Esta técnica é uma importante ferramenta estatística que permite examinar a relação entre uma única variável dependente e múltiplas variáveis independentes é dada pela seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon$$

sendo:

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ Coeficientes associados

X_1, \dots, X_p As variáveis independentes

Este método é apropriado quando o problema estudado possui apenas uma métrica determinante para ser relacionada com duas ou mais variáveis independente. O uso comum desta análise estatística é utilizar apenas variáveis métricas. Entretanto, é possível ser aplicada para analisar variáveis não-métricas adequadamente transformadas (JOBSON, 1992; MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010). Sendo apropriada quando o *Belt* está interessado em

observar relações estatísticas entre as variáveis independentes e sua influência na variável dependente.

O ponto de partida para a utilização desta técnica refere-se à definição do problema de pesquisa. Esta técnica conta ainda com outras questões importantes como a especificação de relações estatística e a seleção das variáveis dependentes e independentes apropriadas. Ela apresenta uma ampla aplicabilidade, entre tanto seu propósito se restringe a duas grandes classes de pesquisa a previsão e explicação ou pode tratar da combinação de ambos os propósitos.

A previsão refere-se à habilidade de gerar um modelo para determinar o valor para uma variável dependente. O objetivo é utilizar as variáveis independentes cujos valores são conhecidos para prever as chances de ocorrência nas variáveis dependentes. O primeiro objetivo é maximizar o poder de predição geral das variáveis dependentes. Desta forma, a precisão é vital para a eficiência do modelo, que pode ser alcançada por meio da validade do conjunto de variáveis adotadas como independentes no modelo.

Um segundo objetivo refere-se a comparar dois ou mais conjuntos de variáveis que podem aumentar o poder preditivo o que possibilita uma abordagem confirmatória. A adoção desta técnica com o objetivo de analisar as relações existentes aposta no desenvolvimento de uma razão substantiva dos efeitos das variáveis independentes. Desta forma, a interpretação da variável estatística possibilita ainda examinar as inter-relações entre as variáveis independentes, o que possibilitará checar argumentos empíricos e ou teóricos.

Apesar do objetivo desta análise ser compatível com alguns problemas industriais está longe de ser amplamente usada como ferramenta de melhoria da qualidade. Sendo aplicável em diferentes contextos e situações que envolvam previsões; desenvolvimento de modelos de desempenho de uma empresa, estudar o processo de tomada de decisão, além da avaliação de efetividade dos programas de melhoria (YANG, 2004; HAIR *et. al.*, 2010).

A função do coeficiente de correlação (r) e o estabelecimento de um intervalo de confiança. O valor do r indica a força entre as variáveis, já o sinal (+ ou -) indicam o sentido desta relação, (+) indica uma relação positiva (-) uma relação negativa, já o (0) indica não haver relação entre as variáveis dependente e independente.

O coeficiente de regressão representa a quantia de mudança na variável dependente devido às mudanças na variável independente. Esta característica ajuda a prever o valor da variável independente com certo nível de confiança e precisão. O coeficiente de correlação é dado pela equação:

$$r_{x,y} = \frac{cov[X,Y]}{S_x S_y}$$

sendo:

$cov[X,Y]$ a matriz de variâncias – covariâncias de X e Y, S_x e S_y o desvio padrão de X e de Y, respectivamente.

Quando a matriz de covariância apresenta esta configuração (matriz identidade) isto indica não haver correlação entre as variáveis estudadas (JOHNSON e WICHERN, 1982). Neste caso, existe a necessidade do *Belt* rever o modelo conceitual sobre o problema e não tratá-lo como um problema multivariado.

$$cov(X_{ik}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$cov(X_i, X_k) = 0$ (X_i e X_k são independentes)

O primeiro estágio para o desenvolvimento e uma análise de regressão múltipla refere-se à seleção de variáveis dependente e independentes. Regra geral para o sucesso de aplicação desta técnica está na seleção apropriada das variáveis. Isto pode parecer óbvio, entretanto recomenda-se observar três aspectos que podem interferir na decisão, são eles:

- a) teoria forte - é importante a base conceitual no desenvolvimento do modelo de regressão, entretanto deve-se ter atenção em selecionar variáveis que são preditas pela base teórica. Da mesma forma, selecionar muitas variáveis pode inflacionar o modelo o tornando ineficiente;
- b) erro de medida - o *Belt* deve conhecer estes erros e buscar minimizar seus efeitos conforme descrito anteriormente;
- c) erro de especificação - consiste na seleção de variáveis irrelevantes na construção do modelo. Embora a sua inclusão não impacte diretamente nos resultados sua presença diminui a parcimônia entre as variáveis. A adição de variáveis com pouca representatividade pode mascarar ou substituir o efeito de variáveis mais úteis, além de impactar na significância estatística. A adição de variáveis irrelevantes e a eliminação de variáveis importantes invalidam os resultados do modelo.

O segundo estágio refere-se ao planejamento da pesquisa. O *Belt* deve considerar três fatores ao desenvolver uma análise de regressão múltipla: o fator mais importante sob o controle do *Belt* é o tamanho da amostra, seus efeitos são perceptíveis no

poder estatístico e teste de significância; a natureza das variáveis independentes é outro importante fator.

O terceiro estágio refere-se às suposições estatísticas. A regressão múltipla acomoda varias variáveis independentes métricas consideradas como fixas e ou com um componente aleatório. De maneira geral, a suposição referente à regressão múltipla segue as demais exigências das MDAs. Entretanto, recomenda-se uma análise das suposições aplicada às variáveis dependentes e independentes e a sua relação como um todo. Os testes de suposições devem ser executados na fase inicial e quando o modelo de regressão já estiver estabelecido. A principal técnica de validação do modelo é a análise de resíduo, que testa a normalidade e o efeito de tendência linear.

Na fase inicial a necessidade de se avaliar as variáveis individuais deve-se a que violações nas suposições dificultam a interpretação das relações existentes entre as variáveis. Outro motivo se da pelas necessidades de busca de fontes e o desenvolvimento de ações corretivas para as violações. Desta forma, apenas com uma avaliação das variáveis individuais será possível o *Belt* abordar essas duas importantes questões. Como recomendação na fase final o gráfico de resíduo fornecerá um conjunto eficaz para verificar a adequação do modelo. Este gráfico demonstra a distribuição dos resíduos em torno de uma linha diagonal. Desta forma, quanto mais próxima a este reta mais preciso será seu modelo.

Ao quarto estágio consiste na estimação do modelo de regressão e avaliação do ajuste geral do modelo. Após especificação do objetivo e do conjunto de variáveis é possível estimar o modelo de regressão, neste sentido o *Belt* neste estágio deve cumprir três tarefas: selecionar um método de estimação do modelo para explicitar o modelo de regressão a ser estimado; ajuizar a significância estatística do modelo na previsão da variável dependente; verificar se alguma observação exerce influencia negativa no resultado.

O quinto passo na referente à interpretação da variável estatística de regressão. Nesta fase o objetivo é verificar os coeficientes de regressão, a primeira informação é referente ao tipo de relação positiva ou negativa. Outro dado interessante refere-se à força da relação entre as variáveis dependente e independente. Assim a interpretação dos coeficientes de regressão possibilita explicar o impacto relativo das variáveis independentes em relação à variável dependente. Entretanto um olhar atento por parte do *Belt* pode perceber que as unidades de medida das variáveis interferem no processo de interpretação. Desta forma, para utilizar os coeficientes de regressão como para fins de explicação deve-se garantir que todas as variáveis independentes estejam em escala comparáveis.

Uma forma de utilizar os coeficientes de regressão em escala comparável é por meio da padronização. Esta padronização converte todas as variáveis para uma escala que apresenta como característica, média igual a zero com desvio padrão igual a 1. Isto possibilita a verificar o impacto individual das variáveis independentes na variável dependente. Esta manobra, no entanto isto serve apenas para evidenciar quais são as variáveis mais importantes.

A última fase da condução da análise de regressão múltipla é a validação dos resultados. O melhor modelo gerado é aquele capaz de representar a população de maneira eficaz e seus resultados possíveis de serem generalizáveis. Desta forma, este modelo deve ser capaz de se ajustar à concepção teórica se esta existir. Entretanto possui formas de se validar os resultados de maneira empírica caso não haja resultados ou teorias precedentes. A abordagem empírica empregada para a validação do modelo consiste no teste do modelo gerado em amostras adicionais ou provenientes da divisão da amostra inicial. Ao menos a princípio os resultados dos testes derivados da mesma população devem ser compatíveis. Entretanto, pode ocorrer divergência entre os testes, neste sentido o *Belt* deve se apresentar como um mediador e descobrir as causas dos vieses.

4.4 Aplicações das MDAs em Projetos Seis Sigma

Esta seção apresenta algumas possibilidades da aplicação das MDAs em projetos Seis Sigma. Neste sentido, o Quadro 4.2 apresenta um resumo das principais restrições e recomendações, que devem ser observadas para uma condução apropriada das MDAs em projetos Seis Sigma.

A aplicação apropriada destas técnicas em projetos Seis Sigma, depende da classe de problema que o *Belt* está buscando solucionar. Desta forma, uma técnica basicamente descritiva não pode ser utilizada no intuito de confirmar as causas do problema. As MDAs podem ser utilizadas nas seguintes tipos de problema:

- a) **descritivo**, as técnicas que se enquadram neste tipo de pesquisa devem ser utilizadas para mostrar as causas dos problemas e como se relacionam as variáveis estudadas;
- b) **exploratória**, estas técnicas podem ser utilizadas no intuito de encontrar as causas de variação e relações que são difíceis de serem observadas sem o uso de técnicas apropriadas;
- c) **confirmatória**, as técnicas confirmatórias podem ser utilizadas para ratificar o modelo. Estas técnicas podem ser utilizadas nas fases finais do projeto como forma de

comprovar que a devida mudança no processo ou seu produto trouxe o benefício esperado.

Quadro 4. 2 — Principais Características das MDAs

Técnica Multivariada	Tamanho Amostral	Objetivo	Utilizada para	Efeito da Linearidade	Efeito da Homocedasticidade
Análise De Cluster	4 Obs. por Variável	Redução / Mineração	Descrever	Baixo	Baixo
Componente Principal	10 Obs. por Variável	Redução / Mineração	Explorar Confirmar	Média	Média
Análise Discriminante	20 Obj. Por Sub Grupo	Mineração	Descrever / Confirmar	Alta	Média
Análise Fatorial	10 Obs. Por Variável	Redução / Mineração	Explorar Confirmar	Média	Média
MANOVA	20 Obj. Por Sub Grupo	Mineração	Descrever / Confirmar	Média	Média
Regressão Múltipla	20 Obj. Por Variável	Predição/ Explicação	Confirmar/ Descrever	Alta	Média
Técnica Multivariada	Efeito da Multicolinearidade	Efeito da Normalidade Multivariada	Variável Dependente	Variável Independente	Validação
Análise De Cluster	Alto	Baixo		Métrica Padronizada	Sub-Amostragem
Componente Principal	Alto	Média		Métrica	Sub-Amostragem
Análise Discriminante	Média	Alta	Não Métrica	Métrica Padronizada	Cruzada/ Sub-Amostragem
Análise Fatorial	Alto	Média		Métrica	Sub-Amostragem
MANOVA	Média	Alta	Métrica	Não Métrica	Repetição
Regressão Múltipla	Média	Média	Métrica	Métrica	Sub-Amostragem

Fonte: MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010

Dentro do DMAIC, na fase de definição, estas ferramentas podem auxiliar o *Belt* na observação do comportamento de algumas variáveis selecionadas. Outra característica importante destas técnicas é que sua aplicação pode ajudar a validar as hipóteses iniciais sobre a variação do processo obtidas inicialmente por meio de um *brainstorm*. Desta forma, estas técnicas podem sugerir a eliminação de algumas variáveis que não apresentam influência no processo estudado ou sugerir a entrada de novas variáveis negligenciada inicialmente (YANG; TREWN, 2004; YANG, 2004; HAIR *et. al.*, 2010).

O *data mining* ou mineração de dados em português consiste em algumas técnicas multivariadas que permite ao *Belt* por meio de sua utilização observar relações existe

e comportamentos das variáveis que seriam difíceis de serem observadas valendo-se apenas da experiência dos profissionais. Outra importante colaboração destas técnicas refere-se à estratificação dos elementos, técnicas como Análise de cluster e Análise discriminante podem auxiliar o *Belt* fornecendo informações para a estratificação dos elementos de acordo com suas características. Desta forma, é possível agrupar observações com características próximas e assim estudar seu comportamento e sugerir hipóteses para sua diferença. Na maior parte artigos e livros sobre Seis Sigma o *Data mining* tem sido pouco discutido (YANG; TREWN, 2004; YANG, 2004; HAIR *et. al.*, 2010).

As possíveis aplicações das MDAs na fase de mensuração podem adicionar vantagens, pois a maior parte da literatura sobre Seis Sigma utiliza ferramentas básicas, tais como histogramas e gráficos de dispersão e, no máximo, alguns gráficos multivariados, são discutidos. Neste sentido, a aplicação de técnicas como análise dos componentes principais auxiliam na avaliação de quais são as principais variáveis atuam negativamente no processo. Ferramentas que auxiliam na redução de dados e técnicas como os gráfico de controle multivariado são ferramentas importantes nesta fase, pois as variáveis selecionadas são baseadas em sua correlação. Desta forma, o controle estatístico do processo ganha agilidade e confiabilidade, pois são controladas principalmente as variáveis com maiores efeitos no resultado final evitando assim uma infinidade de cartas de controle que pouco contribui para o acompanhamento do processo (YANG; TREWN, 2004; YANG, 2004; HAIR *et. al.*, 2010).

Ferramentas como Regressão Linear e MANOVA são importantes na fase de "analisar" dos projetos Seis Sigma. Estas técnicas permitem a verificação e a manipulação das variáveis dependentes e a observação de seus efeitos na variável independente assim validando as causas de variação. A Análise Fatorial auxilia o *Belt* na redução dos dados, possibilitando a verificação das variáveis causadora da maior parte das variações. A técnica de análise dos componentes principais se utilizada dos mesmos procedimentos que a análise fatorial. Entretanto, o procedimento de rotação dos fatores corresponde a um passo importante no sentido de conhecer o comportamento das variáveis dentro dos fatores formados.

Baseado nas informações das análises fatorial e componentes principais é possível ao *Belt* selecionar as variáveis consideradas importantes e verificar o comportamento dos elementos estudados. Primeiro consta-se a existência e a formação de grupos por meio da análise de cluster, confirmado sua existência é possível a aplicação de uma Análise Discriminante para gerar modelos de classificação, isto com base em algumas variáveis para prever a qual grupo certa observação pertencerá. Estas técnicas permitem ao *Belt* obter um grande conhecimento sobre o comportamento das variáveis no processo, sendo possível

dominá-lo. Técnicas como Análise dos Componentes Principais, Análise Fatorial, Análise De Cluster e Discriminante e Componentes de Variância auxiliam igualmente no domínio do processo baseado em fatos (YANG; TREWN, 2004; YANG, 2004; ALBEANU; HUNTER; RADFORD, 2010; HAIR *et. al.*, 2010).

Na fase de melhoria, ferramentas que auxiliam na redução de dados podem ser de grande auxílio. Após o processo sob controle estatístico e amplamente dominado as soluções podem ser aplicadas. Sendo assim as ferramentas relacionadas à redução de dados e gráficos multivariados auxiliam na verificação da eficiência das soluções aplicadas. Segundo alguns autores após a alteração de alguma variável ou mudança no processo é possível a utilização das técnicas de redução de dados, novamente, para que se certifique se há influencia das alterações devido a modificações no processo, isto permitirá o estabelecimento e certificação dos melhores níveis de desempenho (YANG e TREWN, 2004; YANG, 2004; HAIR *et. al.*, 2010).

Na fase de controle a principal ferramenta mutivariada que pode ser empregada no controle são os gráficos de controle multivariado, pois é uma importante técnica estatística para acompanhar o desempenho do processo. Seu princípio básico remete a possibilidade da acompanhar a influência das variáveis mais importes e correlacionadas no processo produtivo. Desta forma, não é necessário utilizar um conjunto de cartas de controle. Neste sentido apenas uma carta de controle será suficiente para acompanhar o desempenho do processo. Sua utilização possibilita o acompanhamento do desempenho do processo (CHAMPAGNE e DUDZIC, 2002; YANG e TREWN, 2004; YANG, 2004; HAIR *et. al.*, 2010). Por seu escopo amplo esta técnica não será considerada nesta dissertação como ferramentas para a melhoria da qualidade.

4.5 Variáveis de Pesquisa

Pelo exposto, após conhecidos as MDAs, sua relevância para os projetos Seis Sigma, foi realizado o agrupamento dos fatores que contribuem para uma efetiva aplicação das MDAs conforme pode ser observado no Quadro 4.3 partindo dos trabalhos de Firka (2011) e revisão bibliográfica nos capítulos 2,3 e 4 obtendo-se três dimensões principais (estatística, metodológica e gerencial). Este quadro representa os constructos de pesquisa. Estes constructos representam as características a serem abordadas no questionário (APÊNDICE A) para que possam apresentar as principais dificuldades da aplicação dessas técnicas nas empresas visitadas.

Quadro 4. 3 — Fatores que contribuem para uma efetiva aplicação das MDAs em projetos Seis Sigma

Dimensões	Constructos	Principais Autores
Estatística	Seguir os procedimentos analíticos	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
	Observar os pressupostos das MDAs	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
	Fazer análise residual	FIRKA, 2011
	Fazer a transformar nos dados quando necessário	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
	A não generalização para valores fora do escopo estudado	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
	Verificar a relação existente entre a significância estatística e o poder da análise	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
	Validar o modelo estatístico	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
Técnica e Metodológicas	Verificar a qualidade de dados para desenvolver as análises	NEHMY E PAIM, 1998; LU; KUO e LEE, 2010
	Checar a estabilidade do processo antes de executar os procedimentos	MONTGOMERY, 2010
	Planejar a fase de experimentação	FIRKA, 2011
	A utilização de um modelo conceitual que considera as principais variáveis causadoras de variação	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
	Validar instrumentos de medição	FIRKA (2011)
	Verificar a significância prática dos resultados	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
	Reconhecer a importância do conhecimento dos métodos estatísticos na resolução de problemas	CHAMPAGNE E DUDZIC, 2002
	Investir na integração do sistema de informação	CHAMPAGNE E DUDZIC, 2002
Sociológica e Gerencial	Enfatizar a precisão dos resultados na utilização das técnicas estatísticas como ferramentas para a resolução de problemas	HAIR <i>et.al.</i> , 2010
	Garantir os recursos necessários ao longo do desenvolvimento do projeto	FIRKA, 2011
	Valorizar os conhecimentos dos profissionais diretamente envolvidos com o problema	YANG; TREWN, 2004
	Alta experiência na aplicação das MDAs	CHAMPAGNE E DUDZIC, 2002
	Investir no treinamento das ferramentas analíticas	CHAMPAGNE E DUDZIC, 2002
	Compreensão entre os níveis gerenciais da necessidade da aplicação deste conjunto de técnicas	FIRKA, 2011
	Não desistir na primeira falha	FIRKA, 2011
	Comunicação clara dos resultados aos interessados.	FIRKA, 2011
	Saber reconhecer a ocorrência de problemas multivariados	MAKRYMICHALOS, M.; <i>et. al.</i> 2005
Reconhecer a importância do Pensamento Estatístico	MAKRYMICHALOS, M.; <i>et. al.</i> 2005	

Fonte: Próprio autor

O próximo capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado neste trabalho

5 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho destina-se a descrever quais são as principais dificuldades e gargalos enfrentados pelas empresas e seus praticantes no uso com sucesso das MDAs, para identificar e eliminar as causas da variabilidade em produtos e processos, além de fomentar a aplicação destas técnicas em projetos de melhoria Seis Sigma. As características principais da inviabilidade da aplicação destas técnicas em projetos de melhoria envolvem três dimensões: Estatística, Técnica Metodológica e a Sociológica Gerencial. Portanto, se faz necessário que os entrevistados possuam uma sólida formação e experiência em projetos de melhoria para que estas dimensões possam ser observadas.

Por se tratar de uma questão estratégica para as empresas estudadas, algumas fontes de informações fornecidas nas entrevistas serão mantidas em sigilo. Sendo assim, não serão divulgadas as informações como nome do entrevistado ou razão social das organizações estudadas. Segundo Cauchik-Miguel (2010) para uma condução eficiente de pesquisas nas áreas de Engenharia de Produção e Gestão de Operações é necessário observar seus elementos e certas práticas metodológicas, tais como:

- a) definição do método de pesquisa;
- b) abordagem de pesquisa;
- c) recorte temporal;
- d) concepção metodológica.

a) O método de pesquisa selecionado foi estudo de múltiplos casos, pois o objetivo deste trabalho busca por meio de diversas fontes de evidência, responder a questões contemporâneas do tipo “como” as MDAs podem ser aplicadas como ferramentas em projetos de melhoria e “por que” estes conjuntos de técnica não estão sendo aplicadas de forma ampla em projetos de melhoria.

b) Esta pesquisa adota uma abordagem qualitativa, pois seus resultados são baseados na interpretação subjetiva e particular da decorrência do estudo pelo pesquisador além do domínio sobre as variáveis estudadas, fazendo uso de múltiplas fontes de evidência, tais como entrevistas e observações em campo.

c) Além disso, este trabalho corresponde a um estudo transversal de caráter descritivo, pois examinam em algumas organizações as principais dificuldades relacionadas à aplicação das MDAs como ferramentas de melhoria da qualidade em projetos Seis Sigma no presente momento.

d) A concepção metodológica associada ao objetivo desta pesquisa trata-se do dedutivismo clássico. Nesta concepção, a partir da interpretação dos fatos o pesquisador desenvolve suas conclusões.

5.1 Estratégia e Abordagem de Pesquisa

Este trabalho foi conduzido em 04 etapas. Na primeira etapa buscou delinear a literatura em busca de constructos referente na temática em: base de dados, livros, teses e dissertações, artigos publicados em periódicos e anais de congressos de diversas nacionalidades. A pesquisa bibliográfica evidenciou que a aplicação das MDAs atua como uma importante ferramenta analítica em pesquisas acadêmicas de diversas áreas do conhecimento. Além disso, poucos trabalhos descrevem sua aplicação como ferramentas para a melhoria da qualidade de produtos e processos. No entanto, alguns autores destacam a importância de se aplicar este conjunto de técnicas como ferramentas para a melhoria da qualidade em projetos Seis Sigma.

Na segunda fase verificou-se a aplicação das MDAs em estudo piloto por meio de uma visita a uma empresa do segmento Químico, selecionada de acordo com as características necessárias para o desenvolvimento do estudo, no período de julho de 2011. Este estudo piloto foi destinado a levantar informações por meio de entrevista semi-estruturada com o responsável pelo desenvolvimento dos projetos de melhoria (MBB) para:

- a) conhecer o processo produtivo;
- b) buscar por variáveis ainda desconhecidas ou negligenciadas na fase de revisão de literatura;
- c) familiarizar com objeto de estudo;
- d) evidenciar como os projetos podem se beneficiar da aplicação das MDAs para o desenvolvimento das melhorias.

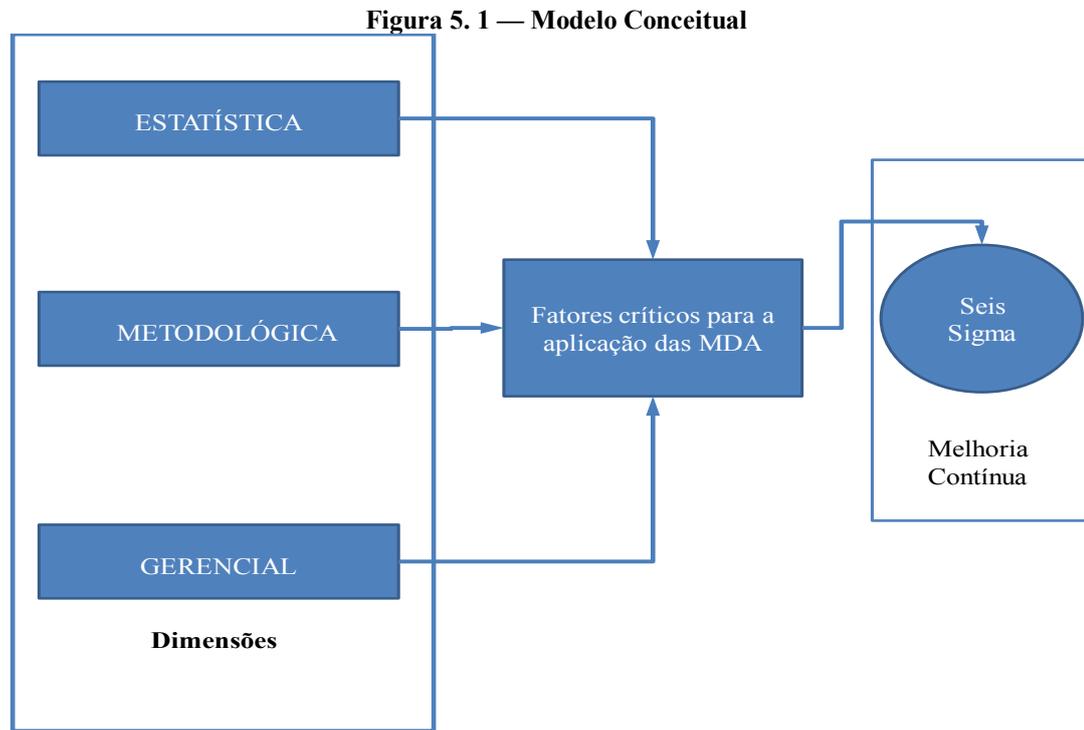
Esta fase possibilitou o refinamento teórico e prático, além de adicionar novos conceitos e variáveis ao estudo no sentido de aprimorar a condução do trabalho em outros casos.

A terceira fase possibilitou o levantamento das informações sobre o conhecimento em MDAs por meio de entrevistas com questões abertas no início e as transformando de modo a deixá-la mais restrita com pessoas que selecionam projetos de melhoria; e pessoa responsável pela aplicação de ferramentas estatística para melhoria do processo das empresas estudadas (*Champions* e MBB's).

Finalmente na quarta etapa apresenta uma característica de informação complementar nas quais por meio de questionário foi levantando dados sobre a utilização das MDAs como ferramentas para melhoria da qualidade; informações referentes às possibilidades de aplicação das MDAs nas empresas estudadas.

5.2 Modelo Conceitual

A Figura 5.1 apresenta o modelo conceitual que resume em três grupos os fatores que influenciam a aplicação das MDAs em projetos Seis Sigma. A adoção da abordagem Seis Sigma pelas organizações corresponde a um ambiente facilitador à aplicação dessas técnicas. Aplicação dessas técnicas podem representar benefícios para a qualidade dos produtos e processos.



Fonte: Próprio autor

5.3 Proposições

Baseado na revisão de literatura é possível estabelecer as seguintes proposições de pesquisa:

- a) a falta de treinamento em ferramentas multivariadas é um dos gargalos que dificultam a adoção das MDAs;
- b) a falta de estrutura e mecanismos dificultam a modelagem do problema. As MDAs podem ajudar na modelagem dos problemas industriais;

- c) as MDAs são subutilizadas pelas organizações;
- d) as organizações poderiam utilizar as MDAs para desenvolver projetos de melhoria proativa;
- e) o seis sigma é uma abordagem para a melhoria da qualidade como objetivos e estrutura que facilitam a aplicação das MDAs como ferramentas para a melhoria da qualidade.

5.4 Objetos de Estudo

Os objetos de estudo são as empresas selecionadas (A, B,C) que prescrevem a necessidade de aplicação das MDAs, desenvolvem projetos de melhoria Seis Sigma, e são líderes em seus segmentos de mercado.

5.5 Características dos Casos Estudados

Os projetos de melhoria estudados são de empresas multinacionais com filiais no estado de São Paulo pertencente aos segmentos de atividade econômica química e automobilística com sólida experiência na utilização da abordagem Seis Sigma, com alto nível de comprometimento com a redução da variabilidade e uma alta taxa de inovação tecnológica. Este padrão de comportamento desenha uma estrutura que facilita a aplicação das MDAs devido a um preparo e a necessidade de um conhecimento maior em ferramentas estatísticas. A seleção desses segmentos de empresa deve-se também a importância econômica e tecnológica para o país.

5.6 Métodos de Coleta dos Dados

Foi conduzida uma visita às empresas selecionadas com o objetivo de verificar a dificuldade da utilização das MDAs como ferramenta de melhoria por meio de entrevista com os responsáveis pela gestão de projetos. Foram entrevistados os MBB ou Champion, como fonte de informação. No agendamento da entrevista foi encaminhado o questionário que pode ser observado no APÊNDICE A. Além de uma breve introdução sobre as técnicas básicas de MDAs.

Os assuntos discutidos não envolveram a indução da resposta do entrevistado. Entretanto, questões relevantes que não fazem parte diretamente do escopo da pesquisa foram explorados. O tempo de entrevista foi de aproximadamente 4 horas tendo em alguns casos um detalhamento maior de algumas aplicações.

6. PESQUISA DE CAMPO

Neste capítulo é apresentado o resultado da pesquisa de campo no qual são apresentadas as análises, apresentados os casos separadamente e em seguida uma análise sobre o conjunto dos casos estudados. A apresentação de cada caso é feita de acordo com as características da empresa: informações gerais para caracterizar as empresas e aspectos relevantes de todos os casos.

6.1 Empresa A - Indústria Química

A empresa A é uma divisão de uma multinacional produtora de produtos químicos diversos. Esta empresa está localizada no interior do estado de São Paulo na macro-região de Campinas. Seus principais clientes são empresas que utilizam seus produtos como matéria primas na produção de artigos para higiene pessoal, produtos para a indústria têxtil e automobilística.

Conforme demonstrado no Quadro 6.1 foi entrevistado três profissionais sendo um MBB e dois BB. A principal atribuição do MBB é dar suporte as demais atividades dos BB bem com participar do processo de treinamento e formação dos demais *Belts*. O perfil do MBB exige que ele apresente ferramentas e técnicas a ser empregado no processo de desenvolvimento dos projetos Seis Sigma e assim estar preparado para apresentar formas diferentes de lidar com as adversidades presentes no contexto industrial. Os BB atuam em projetos Seis Sigma, porém parte de suas atribuições é a condução de outras atividades. Neste sentido um dos entrevistados é Gerente de Marketing e o outro Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento de produtos. A entrevista se deu por meio de uma reunião e as opiniões foram apresentadas de forma consensual.

Quadro 6. 1 — Pessoas entrevistadas na empresa A

Entrevistados	<i>Master Black Belt</i>	Gerente de pesquisa e desenvolvimento de produtos	Gerente De Marketing Estratégico
Formação profissional	Engenheiro. Químico	Engenheiro. Químico	Químico
Pós- graduação	Mestrado em Química	Doutorado em Química	Doutorado em Química
Treinamento em Seis Sigma	MBB Internacional	BB Nacional	BB Internacional
Último treinamento Data / Duração:	2006 (5 semanas)	2005 (2 semanas)	2006 (4 semanas)
Treinamento	Six Sigma Academy	Six Sigma Academy	Six Sigma Academy
Experiência em projetos Seis Sigma	10 anos	6 anos	5 anos
<i>Softwares</i> estatísticos utilizados pela organização	Minitab /Mathlab / Risk	Minitab /Mathlab / Risk	Minitab /Mathlab / Risk

Fonte: Próprio autor

Indagados sobre o benefício da utilização de ferramentas estatísticas capazes de classificar as observações baseadas em suas características em projetos Seis Sigma, os entrevistados responderam que esta seria uma ferramenta importante principalmente devido a características dos processos produtivos serem multivariados e serem considerados de forma univariada. Segundo os entrevistados as MDAs para gerar modelos de classificação são importantes ferramentas na fase de definição do DMAIC. Pois tais técnicas possibilitam a redução do número de variáveis, assim favorecem os projetos no sentido de estabelecer controle mais efetivo das variáveis ou interações mais significativas. O Quadro 6.2 mostra as características referentes ao conhecimento, uso, e importância de algumas MDAs na empresa A.

Quadro 6. 2 — Aplicação Das MDAs Em Projetos Seis Sigma Na Empresa A

	Grau de importância das MDAs em projetos de melhoria					Frequência de uso das MDAs em projetos SEIS-SIGMA					Treinamento em MDA		
	Muito Pequena	Pequena	Media	Alta	Muito Alta	Nunca	Pouco	Mediano	Frequente	Muito Frequente	Treinamento Sem Graduação	Pós-graduação	Seis Sigma
Análise de agrupamento		X				X					X		
Análise de componentes principais					X			X				X	
Análise Fatorial					X	X					X		
Análise Discriminante			X			X					X		
Análise Multivariada de Variância					X			X					X
Regressão Múltipla					X					X			X

Fonte: Próprio autor

A próxima seção mostra como a empresa A lida com os fatores que contribuem para uma efetiva aplicação das MDAs em projetos Seis Sigma.

6.1.1 Dimensão Estatística

Seguir os Procedimentos Analíticos. Os projetos de melhoria Seis Sigma apresentam uma grande ênfase estatística para a redução da variabilidade dos processos. Neste sentido, foi observado que a empresa A segue de maneira sistemática o uso do DMAIC como método para promover a melhoria da qualidade. Desta forma, para o projeto evoluir de uma determinada fase para outra é necessário que o passo anterior seja validado pelo gestor do projeto.

Sendo assim, o passo apenas é validado à medida que os procedimentos analíticos são rigorosamente seguidos e não existam pendências, afim que se obtenha uma maior precisão dos resultados. A precisão analítica dos resultados passa pela seleção da técnica estatística apropriada bem como a satisfação dos pressupostos como tamanho amostral adequado à situação estudada e exigida pela análise. Neste sentido, a empresa A não acredita que um maior número de observações seja responsável pela precisão dos resultados.

Observar aos Pressupostos das MDAs. Outro pressuposto importante verificado pela empresa refere-se à utilização apropriada do tipo de variável envolvida.

Fazer análise residual. Outro pressuposto comum às análises estatísticas refere-se à necessidade de normalidade da distribuição. Desta forma, a normalidade é checada pelo método de Anderson Darling. Para a análise de regressão é observado os resíduos e não analisa a assimetria e ou curtose.

Fazer a transformação nos dados quando necessário. Caso seja necessário, a empresa A transforma dados para uma melhor aderência aos pressupostos como normalidade, portanto quando os dados não seguem uma distribuição normal são transformados. Satisfeito os pressupostos, busca-se minimizar os efeitos de falso positivos (erro alfa). Muitas vezes a precisão das análises estatísticas é alcançada pela repetição dos procedimentos de análise em outra amostra como uma forma de se validar os resultados.

Validar o modelo estatístico. Para validar o modelo de análise estatística é utilizado o método gráfico observando o intervalo de 95 % de confiança para as estimativas dos parâmetros populacionais.

Verificar a relação existente entre a significância estatística e o poder da análise. A empresa A tem consciência das correlações existentes entre as variáveis por esta razão considera importante apreciar os efeitos principais e suas principais interações quando desenvolve as análises. Entretanto, por questões de ordem econômica e restrições do processo produtivo, é difícil para a empresa executar um teste completo. Entretanto, busca-se uma melhor qualidade dos resultados considerando as interações de ordem dupla. A não generalização para valores fora do escopo estudado. Ainda por esta razão não faz generalizações para resultados fora do escopo estudado.

A empresa busca observar os níveis de significância dos testes estatísticos e o poder analítico. Não faz parte do cotidiano dos projetos Seis Sigma lidar com o conceito de NM, isto se deve ao fato de que as organizações utilizam pouco as MDAs e a carência no treinamento nestas ferramentas.

Faz parte do cotidiano dos projetos Seis Sigma realizar teste de homoscedadacidade, pois este conceito faz parte dos procedimentos analíticos univariados abordado nos treinamentos em Seis Sigma. Outro pressuposto das MDAs pouco difundido em projetos Seis Sigma é a linearidade. Este conceito não é exclusivo destas técnicas. Entretanto, não faz parte do cotidiano da empresa A.

Outro pressuposto refere-se a observações atípicas e aos dados perdidos. A empresa busca verificar o histórico disponível a fim de verificar observações atípicas.

Verificado isto e decidido pela permanência ou eliminação do dado atípico nas análises. A organização preferencialmente utiliza apenas observações completas em seus projetos na maioria das vezes. Entretanto, quando alguma observação não está disponível e este é importante, a organização se utiliza dos procedimentos de atribuição

Entretanto, quando a qualidade do dado é questionável e se opta pela eliminação do dado a organização busca eliminar variáveis e casos problemáticos, para estes não comprometerem os resultados dos procedimentos analíticos. Neste sentido, a empresa busca explicações para a ocorrência, para saber se trata de uma perda de dado sistemática ou causada pela entrada imprecisa das informações.

6.1.2 Dimensões Técnicas e Metodológicas

Verificar a qualidade de dados para desenvolver as análises. A empresa A por ser uma empresa de produção contínua apresenta uma série de sensores que medem determinada situação. A inclusão dos sensores nos processos de monitoramento se devem as características importantes do processo como questões relacionadas a riscos de acidentes ou por ser uma medida crítica para o controle da qualidade do produto. Esses sensores alimentam um banco de dados onde são armazenados por um tempo determinado. Uma das questões levantadas pelos *Belts* refere-se a sub-utilização desses dados pois, apesar de estar disponível, são pouco utilizados e suas correlações apenas são observadas de maneira reativa.

Investir na integração do sistema de informação. Este banco de dados é gerenciado pela equipe responsável pelo sistema de informação que fica responsável entre outras coisas pela manutenção dos sensores e recuperação dos dados obtidos. O sistema de tecnologia da informação atualmente utilizado pela empresa permite que os dados sejam acessados facilmente e de maneira remota. O Quadro 6.3 mostra os principais indicadores de qualidade da informação.

Quadro 6. 3 — Características de Qualidade Dos Dados na empresa A

Características	Classificação	Observações Importantes
Exatidão	Satisfatório	A dispersão entre os inúmeros processos é alta. Há uma ação para as análises feitas e laboratório funcionarem como medida de comparação e calibração dos instrumentos quando necessário
Precisão	Satisfatório	A precisão é alcançada por uma sistemática calibração dos instrumentos de medição e aferições planejadas pelos laboratórios.
Confiabilidade	Satisfatório/ Excelente	Existe uma governança quanto aos sistemas de coleta de dados, medições e registros. Na parte industrial há sistemas de coleta automática de dados e nos processos transacionais é utilizado o aplicativo SAP
Integridade	Excelente	O sistema de governança desses dados permite a segurança desses dados
Concisão	Regular / Insatisfatório	Busca-se um constante desenvolvimento de relatórios gerenciais limitados resumos executivos. Há potencial quanto aos dados operacionais que são em grande quantidade e carecem de tratativa
Relevância	Excelente	Existem procedimentos para escolha das variáveis industriais a serem coletadas e acompanhadas. Geralmente são selecionadas variáveis críticas para segurança do processo (risco de explosão, transbordos), e qualidade (geralmente relacionadas a auditorias ISO)
Compressibilidade	Excelente	Os dados podem ser resumidos, mas não necessariamente o são
Significado	Satisfatório	Há os indicadores <i>world class</i> que constam em relatórios gerenciais que as pessoas não sabem seu significado. Necessita de uma ação de educação quanto ao bom uso e entendimento desses indicadores
Disponibilidade	Insatisfatório	Dados que estão no SAP ou nos sistemas de supervisão, são de difícil acesso a maioria dos colaboradores e por isso muitas vezes são praticamente ignorados e não utilizados. Há também muita informação em papel (formulários) que ficam em pastas e para serem usados devem ser digitado, o que raramente acontece.
Formato	Insatisfatório	Há muita dispersão quanto aos dados existentes. Sempre há necessidade de um tratamento dos dados para serem transformados em informação.
Comparabilidade	Excelente	Para uma determinada variável, após os dados serem tratados há sim uma boa comparabilidade; os registros existem para se interpretar mudanças de tendência e patamar.

Fonte: Próprio autor

Checar a estabilidade do processo antes de executar os procedimentos. Este nível de qualidade da informação facilita a checagem da estabilidade do processo rapidamente, pois além de contar com um grande volume de dados, este nível de qualidade facilita a medição e acompanhamento do desempenho do processo, o que representa uma agilidade maior além de fornecer uma base conceitual apropriada para desenvolver um modelo conceitual para encontrar as causas de variação. A estabilidade do processo é verificada pelo uso dos gráficos de controle univariados, assim é possível checar os índices de capacidade do processo.

Planejar a Fase de Experimentação. A empresa executa ações planejadas de procedimentos analíticos considerando as diversas variáveis envolvidas e suas escalas de medida para observar o impacto das variáveis estudadas. Os fatores relevantes no planejamento dos estudos estatístico são o custo o tempo e as restrições técnicas impostas pelo processo, como a impossibilidade de *setup*. O procedimento adotado para verificar a influência de determinada variável sobre o processo se dá por meio da normalização dos dados. A normalização dos dados ainda permite verificar a presença de *outlier* ou entrada incorreta dos dados.

Validar instrumentos de medição. A presença desses *outliers* é reduzida em parte pela validação dos instrumentos de medição. Neste sentido a organização valida seus instrumentos por meio de análises de reprodutibilidade e repetibilidade, baseadas em normas, outra forma de validação adotada pela organização e por meio do uso de uma análise de linearidade. Outra questão importante relacionado à qualidade dos dados refere-se à presença da entrada de dados incorretos. Em parte este problema é minimizado pelos investimentos realizados pela organização na automação da coleta de informação.

A utilização de um modelo conceitual que considera as principais variáveis causadoras de variação. Atualmente o processo de definição dos fatores chaves de variação no processo se dá por meio da experiência de técnicos e engenheiros envolvidos no processo. Isto evidencia a importância do fator humano como fonte de melhoria. Neste sentido, a empresa se utiliza de mecanismos de recompensa por idéias criativas. Um aspecto do sistema de premiação é que os *Belts* não recebem qualquer tipo de gratificação pelas melhorias desenvolvidas por se tratar de atividade fim.

A primeira fase do projeto consiste na definição do projeto a ser trabalhado, neste sentido a empresa busca desenvolver um modelo conceitual do problema levando em consideração a experiência dos envolvidos como o problema de todos os níveis. Desta forma, é possível, assim incluir as principais variáveis causadoras de variação no processo.

Entretanto muitas vezes podem ocorrer falhas neste processo, causada pela omissão de alguma variável importante ou a inclusão no modelo de alguma variável pouco significativa. Neste caso, a experiência dos envolvidos é importante, porém não garante a eficiência do modelo conceitual, pois muitas vezes neste tipo de projeto existe uma grande quantidade de variáveis com efeitos pequenos difíceis de serem apontadas valendo-se apenas da experiência. Desta forma, a empresa A busca um refinamento posterior do modelo para que se obtenha uma maior precisão do modelo conceitual inicial, assim gerando melhores resultados. Este refinamento do modelo conceitual se dá pela execução de procedimentos pilotos para verificar a necessidade da inclusão ou exclusão de alguma variável ilegítima.

Verificar a significância prática dos resultados. A organização busca desenvolver o modelo conceitual que seja capaz de explicar os motivos da variação e estabelecer o controle sobre o fenômeno estudado. De maneira explícita, o modelo conceitual funciona como um importante fator considerado pela organização para promover a precisão dos resultados dos projetos. O planejamento sistemático de definição do modelo conceitual, associado ao investimento no sistema de informação por meio da automação na coleta e armazenamento dos dados, permite um controle efetivo sobre o processo produtivo. Isto evidencia a sua importância bem como a utilização desses dados para promover a melhoria da qualidade.

Enfatizar a precisão dos resultados na utilização das técnicas estatísticas como ferramentas para a resolução de problemas. Constata-se também que a organização considera importante o conhecimento em métodos estatísticos na resolução de problemas, considerando como elemento-chave o conhecimento em ferramentas estatísticas para promover a melhoria da qualidade e a redução de custo do processo produtivo.

Reconhecer a importância do conhecimento dos métodos estatísticos na resolução de problemas. A organização apresenta um intensivo programa de treinamento em ferramentas e suporte gerencial às iniciativas de melhoria.

6.1.3 Sociológica e Gerencial

Valorizar os conhecimentos dos profissionais diretamente envolvidos com o problema. A equipe do escritório de projetos é selecionada com base no conhecimento técnico necessário e no envolvimento da pessoa com o projeto a ser desenvolvido. Além do Seis Sigma a organização utiliza outras abordagens como o *Lean Manufacture* e o *Kayzen*. Uma das formas que a empresa encontrou para recrutar pessoas para desenvolverem projetos Seis

Sigma foi por meio da avaliação do desempenho das pessoas em lidarem com problemas e suas habilidades em desenvolver soluções criativas nos eventos *Kayzen*. Estes eventos contam com a participação dos Gerentes de área e a também com as pessoas que compõe os escritórios de projetos.

Reconhecer a importância do Pensamento Estatístico. A empresa dá ênfase a melhoria contínua e a participação das pessoas reconhecendo financeiramente o empenho dos colaboradores com a melhoria. Mesmo após consecutivos projetos de melhoria, a organização acredita que mesmo após consecutivas melhorias ainda há variabilidade no processo. Mesmo assim, ela busca o melhor retorno sobre investimento. Desta forma, algumas melhorias necessitam uma quantidade grande de recursos que se reflete em uma mudança insignificante da variabilidade.

Compreensão entre os níveis gerenciais da necessidade da aplicação das MDAs. Devido a esta forte ênfase pela constante busca de melhorias no sistema produtivo e os bons resultados alcançada por meio do uso da abordagem Seis Sigma, existe a solicitação por parte da diretoria para desenvolver projetos de melhoria em questões alheias a manufatura. Na opinião da organização os procedimentos estatísticos devem ser enfatizados e desenvolvidos na busca pela excelência operacional, sempre observando os pressupostos estatísticos envolvidos para garantir a precisão dos resultados.

Saber reconhecer a ocorrência de problemas multivariados. Uma questão relacionada à utilização dos procedimentos analítica em questões alheias à manufatura trata-se da inclusão de novos procedimentos, pois muitas vezes existe a necessidade de utilizar novas técnicas analíticas que flexibilizam o conjunto atual de ferramentas para adequarem-se aos diferentes pressupostos. Neste caso, inclui-se muitas vezes a necessidade de treinamento em novas ferramentas estatísticas. A introdução de novos procedimentos analíticos se dá de maneira sistemática por meio de treinamentos no horário de trabalho, e quando esses métodos são apresentados se procura desenvolver um piloto para que ganhe experiência, e assim, posteriormente, apresentado às demais pessoas da organização que desenvolvem atividades de melhoria.

Investir no treinamento das ferramentas analíticas. Outra questão importante referente ao treinamento em técnicas estatísticas consiste na preocupação na adaptação do usuário às saídas geradas pelos pacotes estatísticos referente aos novos procedimentos. Sendo assim, as pessoas passam por treinamento nos programas estatísticos utilizados pela organização de maneira a minimizar os efeitos da influência da interface.

Não desistir na primeira falha. Quando estes métodos não apresentam os resultados esperado a organização busca uma maior intensidade de treinamento por meio de exemplos de utilização nas vários segmentos produtivos da empresa, para demonstrar o real valor da aplicação da nova técnica. O fato de estar aberta a utilização de novos procedimentos fora do escopo da empresa e essa forte ênfase estatística, além da busca pela excelência operacional, favorece a utilização das MDAs.

Comunicação clara dos resultados dos projetos aos interessados. De maneira geral, os resultados dos projetos são apresentados de maneira formal aos níveis gerenciais além do uso das técnicas estatísticas estarem enfatizada e presente na maioria das apresentações. Esta atitude corrobora para que os métodos estatísticos sejam cada vez mais enfatizados dentro da organização o que acaba levando o nível de maturidade do conhecimento dos métodos estatísticos. Outra questão importante referente à condução apropriada dos projetos de modo a garantir os recursos ao longo do projeto.

Garantir os recursos necessários ao longo do desenvolvimento do projeto. Os projetos desenvolvidos pela empresa A recebem recursos ao longo de sua execução. A empresa busca garantir ao longo de seu desenvolvimento os recursos e o apoio necessários para a sua execução apropriada. Isto permite que aos projetos prosperem e apresentarem resultados financeiros significativos. Os projetos Seis Sigma são planejados baseados em objetivos financeiros alinhados ao objetivo anual da empresa. Neste sentido são desenvolvidos diversos projetos durante o ano para alcançar a meta.

Alta experiência na aplicação das MDAs. O que realmente importa são os resultados no reconhecimento e valorização das técnicas estatísticas. Na opinião dos entrevistados a maior dificuldade da utilização das MDAs como ferramentas de melhoria se da pela formação e conhecimento da liderança da existência e finalidade dessas técnicas. Assim, o conhecimento irá impactar no suporte dado para a mudança da cultura e do patamar da qualidade na tomada de decisões.

6.1.4 Viabilidade da aplicação da análise multivariada na empresa A

O sistema de informação da empresa A apresenta mecanismos diferenciados que representam um alto nível de qualidade da informação, esta conduta se reflete na precisão das informações geradas pelo sistema, que associada a uma disponibilidade satisfatória dos dados poderia ser utilizada em projetos de melhoria de maneira proativa. Entre os mecanismos adotados pela empresa destaca-se:

- a) a existência de procedimentos para escolha das variáveis industriais a serem coletadas e acompanhadas;
- b) as análises feitas pelos laboratórios são utilizadas como medidas de comparação e calibração dos instrumentos de medição presentes nos processos produtivos quando necessário;
- c) existem políticas para coleta, medições, registros, disponibilidade e segurança dos dados.

Alguns fatores podem ser melhorados, como uma seleção apropriada de variáveis visando o controle de processo, pois como geralmente são selecionadas variáveis críticas para segurança do processo para um acompanhamento *on-line* da segurança do sistema. Portanto, poderia ser aproveitado o conhecimento necessário para acompanhamento das variáveis críticas de segurança para aprimorar o sistema de controle da qualidade do processo produtivo. Desta forma, podem ser estabelecidos por meio de uma análise de componentes principais os fatores mais importantes para a qualidade do processo e estabelecer um controle multivariado do processo. Assim, é possível investir em um controle de processo multivariado baseado nas variáveis críticas para a qualidade do produto produzido.

Atualmente a empresa tem a preocupação em controlar as variáveis mais importantes para a qualidade do processo produtivo. Entretanto, o uso das MDAs pode trazer um diferencial, apontando quais variáveis realmente são merecedoras de maior atenção. O processo atual de seleção de variáveis para controle é univariado o que pode representar falhas por negligência ou excesso de informação. O que demonstra um cenário que não condiz com a realidade do processo produtivo. Outro ponto importante refere-se à possibilidade de resumir os dados, ou seja, existe uma possibilidade interessante de uso destes dados que acaba sendo pouco utilizadas. Portanto a seleção das variáveis para o controle de processo por meio de ferramentas de *data mining* pode ajudar dependendo do caso, selecionar as variáveis importantes para um controle efetivo, além de contribuir com o desenvolvimento das melhorias no processo produtivo.

Outros fatores que necessitam ser melhorados referem-se à dispersão dos dados, isto implica na necessidade de tratamentos e transformações para que estes possam ser utilizados como fonte de melhoria. Após este processo a comparabilidade pode ser melhorada e assim identificar tendências nas variáveis. Neste sentido esta questão pode ser melhorada à medida que os dados coletados assumam uma posição de destaque passa a representar vantagem competitiva para a organização. Embora a automação seja predominante, alguns

dados são coletados manualmente isto possibilita entradas imprecisas, além de aumentar a dificuldade de usar esses dados como fontes de melhoria.

O sistema de indicadores *world class* presentes nos relatórios gerenciais que necessitam de investimento em ações de educação quanto ao bom uso e entendimento desses indicadores. Entretanto, a organização busca um constante desenvolvimento de relatórios gerenciais limitados a um resumo executivo derivados dos dados operacionais que são em grandes números. Embora exista uma grande quantidade de dados, fato é que acabam sendo pouco utilizados pela organização, pois carecem de tratativa devido ao desconhecimento dos profissionais responsáveis pela melhoria em como lidar com este volume e as possíveis correlações existente entre as variáveis que compõe o modelo conceitual do problema.

A utilização de ferramentas das MDAs pode representar uma mudança na forma com que as organizações lidam com seus dados atualmente. Por suas características este conjunto de ferramentas pode de maneira proativa propor melhoria ao processo produtivo já que sua utilização leva em consideração as correlações existentes entre as variáveis e seu impacto na característica da qualidade dos produtos resultantes desses processos. A viabilidade da utilização do sistema de informação como insumo para os processos de melhoria é bastante interessante haja vista a grande quantidade e qualidade dos dados disponíveis sobre o processo.

6.2 Empresa B: - Indústria de Auto Peças

A empresa B é uma divisão de uma multinacional fabricante de autopeças instalada no interior do estado de São Paulo. No Brasil a empresa conta 07 unidades fornecedoras de peças automotivas para as principais montadoras instaladas no Brasil. Além de atender as necessidades das montadoras sua produção supre a demanda do mercado interna por peças de reposição. Seus principais produtos são os sistemas de suspensão para veículos leves, além de componentes voltados para segurança dos usuários como *airbags* e cintos de segurança. A unidade estudada é responsável pela produção de freios e cintos de segurança.

Por fabricar produtos relacionados à segurança do usuário a empresa é pressionada constantemente pelos clientes a manter um elevado nível de qualidade e desempenho. Existe uma grande preocupação por parte da organização com a melhoria contínua de seus produtos e processos produtivos. Por esta razão a empresa busca alcançar melhores níveis de desempenho fazendo o uso de algumas abordagens de melhoria como *Kaysen*, *Lean Manufacture* e Seis Sigma. Devido às características como necessidade de melhorias no processo produtivo para promover o aperfeiçoamento de algumas características

de qualidade dos produtos, é enfatizada pela organização a abordagem de melhoria Seis Sigma. O início do processo de implantação do programa Seis Sigma na unidade avaliada deu-se no ano de 2000, por meio a solicitação da diretoria, que observou nesta abordagem uma oportunidade de melhorar seus resultados devido a relatos de outras organizações que já registravam uma forte tendência de ganhos financeiros. Outro fator motivador foi à solicitação das montadoras. O entrevistado participou do processo de implantação e até o presente momento é o maior responsável pelos projetos de melhoria desenvolvidos pela organização. Maiores detalhes podem ser observados no Quadro 6.4.

Quadro 6. 4 — Entrevistado na Empresa B

Entrevistados	<i>Six Sigma Master Black Belt</i>
Formação profissional	Engenheiro Industrial Mecânico
Pós- graduação	Adm. Empresas // Engenharia Da Qualidade
Treinamento em Seis Sigma	MBB Nacional
Último Treinamento Data / Duração:	2009 (5 Semanas)
Treinamento	Unicamp
Experiência em projetos Seis Sigma	09 Anos
Softwares estatísticos utilizados pela organização	Minitab /Excel

Fonte: Próprio autor

Quando perguntado ao entrevistado questões relacionadas ao seu conhecimento em MDA e uso destas técnicas em projetos de melhoria ficou evidenciado o baixo conhecimento e uso das referidas técnicas. O Quadro 6.5 mostra as características referentes ao conhecimento, uso e importância de algumas MDAs na empresa B.

Quadro 6. 5 — Uso e importância das MDAs em projetos seis sigma na empresa B

	Grau de importância das MDAs em projeto de melhoria					Frequência de uso das MDAs em projetos Seis Sigma				Treinamento em MDA				
	Muito Pequenas	Pequena	Media	Alta	Muito Alta	Nunca	Pouco	Mediano	Frequente	Muito Frequente	Sem treinamento	Graduação	Pós-graduação	Seis Sigma
Análise de agrupamento			X			X								X
Análise de Componentes principais				X		X					X			
Análise Fatorial				X			X							X
Análise Discriminante			X			X					X			
MANOVA		X				X					X			
Regressão Múltipla		X					X							X

Fonte: Próprio autor

A próxima seção mostra como a empresa B lida com os fatores que contribuem para uma efetiva aplicação das MDAs em projetos Seis Sigma.

6.2.1 Dimensão Estatística

Seguir os Procedimentos Analíticos. Um importante fator que contribui para alcançar resultados satisfatórios com os procedimentos estatísticos é sua condução de maneira apropriada. Neste sentido foi observado que a empresa B conduz suas análises de maneira insatisfatória, pois muitas vezes não utiliza um plano apropriado para a seleção de amostras. Apesar da condução das análises serem baseadas em normas, fica evidente que estas não são seguidas de maneira apropriada devido às pressões por respostas rápidas, isto influencia na condução dos procedimentos e conseqüentemente na qualidade da informação gerada.

Pode-se destacar como motivos que pressionam organização a tomar decisões precipitadas são: a necessidade de respostas rápidas à montadora; uma ênfase excessiva em projetos de ações urgentes; além da perspectiva de curto prazo. Neste contexto os projetos desenvolvidos pelos escritórios de projetos não são planejados. Muitas vezes o que acontece é que não pode ser considerado como um projeto de melhoria do tipo Seis Sigma, pois não lidam com problemas recorrentes. Quando focam em trabalhos recorrentes, existe pouco avanço na melhoria da qualidade, já que a utilização do DMAIC é pouco estruturada e assim como resultado os projetos são pobres.

Observar aos Pressupostos das MDAs. São raros os exemplos da aplicação das MDAs com o objetivo de melhorar a qualidade na empresa B. Nesta empresa não foi possível verificar como ela lida com os pressupostos multivariados. Entretanto se percebe que na realidade a não aplicação destas técnicas deve principalmente ao fato de pouco treinamento nestes métodos. No entanto, foi possível verificar como a empresa lida com alguns pressupostos comuns às análises uniu e multivariadas.

Com relação as instituições que oferecem treinamento na abordagem Seis Sigma estas não enfatiza o uso das MDAs, sendo este um dos principais motivos do não aproveitamento deste conjunto de técnicas como ferramentas de melhoria da qualidade. Entretanto observam-se situações dentro do contexto da melhoria da qualidade que a utilização dessas técnicas é imperativa. Muitas vezes situações complexas ficam sem solução ou se obtêm uma solução ineficiente por não se utilizar destas técnicas.

As instituições que oferecem treinamento em Seis Sigma enfatizam a utilização de ferramentas estatísticas univariadas como meio para buscar a melhoria da qualidade. Desta forma, alguns pressupostos comuns as análises univariadas fazem parte dos pressupostos

multivariados. Observar aos pressupostos corresponde a uma parcela importante para se obter resultados eficientes sobre o problema estudado.

Neste sentido, foi possível observar que a organização conduz de maneira apropriada a execução dos procedimentos analíticos, pois observa aos pressupostos das técnicas estatísticas utilizadas. Já pressupostos como NM, e Homocedasticidade, utilizados nas MDAs, não foram possíveis de observar devido à subutilização destes procedimentos pela organização visitada. Entretanto percebe um desconhecimento destes conceitos. No entanto, os pressupostos avaliados nesta pesquisa como tamanho amostral, classes de variáveis permitidas em certas análises, o impacto das diferentes unidades de medida, para determinar quais variáveis são mais representativas do problema, linearidade e a presença de *outliers* foram possíveis de avaliação.

De maneira geral e sempre que possível a Empresa B observa a necessidade da utilização de um tamanho amostral adequado para a condução eficiente das análises. Os principais fatores que afetam a satisfação do tamanho amostral são as características da qualidade dos dados. Outros fatores importantes que impactam negativamente para a obtenção de um tamanho das amostras para a condução eficiente dos procedimentos são a pressão por respostas rápidas além da visão de curto prazo e a necessidade de respostas rápidas. O *setup* corresponde à outra questão importante, pois muitas vezes a organização tem dificuldade de alterar fatores no processo produtivo devido a dificuldades e tempo de alterações, o que implica em uma diminuição momentânea da produtividade.

Com relação à normalidade, sempre que o procedimento analítico exige este é avaliado. O processo de avaliação leva em consideração o uso de *softwares* estatísticos o que em termos matemáticos é satisfatório. Entretanto a dificuldade na obtenção de um tamanho amostral pode mascarar os resultados. Na busca por uma melhor satisfação da normalidade exigida e ou verificar a qualidade dos dados a empresa adota as cartas de controle para checar a presença de *outliers*.

O método da normalização dos valores não é executado pela organização. Neste sentido, quando a organização está na fase de coleta de dados não são utilizados os dados históricos do processo, pois muitas vezes estes são insatisfatórios devido a problemas na qualidade destes. Uma pessoa fica responsável pela coleta de dados, isso minimiza a presença de *outliers* causados por entradas imprecisas de dados. Quando um *outlier* é identificado este é excluído sem verificar suas causas. Este procedimento é um tanto quanto reprovável, pois deve entender os motivos que levaram ao seu aparecimento. Um fator que

contribui para isso é a falta de uma governança no sistema de informação que garanta a confiabilidade da informação.

De maneira geral, quando a empresa se depara com problemas que envolvem correlações entre diversas variáveis e que levam à necessidade de se observar as diferentes unidades de medias para não causar efeitos indesejados como impacto indevido na variável resposta, são observados pelos condutores das análises. Do mesmo modo a organização observa a necessidade de se utilizar técnicas específicas para cada tipo de variável envolvida, ou seja, quando um procedimento exige que as variáveis analisadas sejam do tipo métrica estes são respeitados. Desta forma, a organização respeita a maiorias dos pressupostos, pois, sabem que a qualidade dos seus resultados analíticos é influenciada pela maneira que os procedimentos estatísticos são conduzidos.

Fazer análise residual. Apesar de ser considerada com um pressuposto para algumas análises, a análise residual pode ser entendida com uma boa prática na condução dos procedimentos estatísticos, pois por meio desta, é possível verificar a eficiência do modelo e também um caminho para demonstrar a necessidades de ajustes nos modelos gerados. Neste sentido a empresa B se utiliza deste procedimento no intuito de validar o modelo estatístico.

Fazer a transformação nos dados quando necessário. A empresa B não utiliza métodos de transformação dos dados no intuito de uma melhor aderência aos pressupostos, pois este procedimento é visto pelos níveis responsáveis pelas tomadas de decisão com um ato irregular que fere a questões e princípios matemáticos. Neste sentido observa-se a falta treinamento para lidar com esta situação.

A não generalização para valores fora do escopo estudado. A empresa B apresenta um comportamento conservador, desta forma não foi verificado que extrapolam os valores estudos, pois estão cientes dos riscos envolvidos.

Verificar a relação existente entre a significância estatística e o poder da análise. Foi verificado que a empresa B não verifica a relação entre o poder estatístico e a significância estatística por desconhecer sua existência sendo considerado um item de pouca relevância para a organização. Este seria um procedimento interessante de ser utilizado na organização, pois de maneira geral ela tem dificuldade de alcançar um tamanho amostral satisfatório na opinião dos responsáveis. Desta forma, este procedimento poderia ajudar a organização a observar melhor o tamanho amostral adotado.

Validar o modelo estatístico. Um problema identificado com relação à condução dos procedimentos estatísticos é a falta de validação dos modelos. A justificativa da organização é que desconhece a importância da validação do modelo estatístico.

6.2.2 Dimensão Técnica e Metodológica

Verificar a qualidade de dados para desenvolver as análises: A empresa B não utiliza seus dados históricos para desenvolver as melhorias, pois não são confiáveis. Portanto quando existe a necessidade de coletar dados para desenvolver os projetos de melhoria muitas vezes isso ocorre em duplicata, pois, o sistema de coleta, continua alimentando um sistema e existe a necessidade de uma coleta especializada para ser utilizados nos projetos de melhoria.

O ponto é que muitas vezes a organização coleta dados considerados importantes sobre o processo ou produto baseada nas exigências de seus clientes ou necessidade previa de controle. De fato, este sistema adotado e um tanto quanto ineficiente já que não podem ser utilizados, pois se contesta sua exatidão.

Por outro lado quando existe a necessidade de e desenvolver algum projeto de melhoria fortemente relacionado às características de qualidade do produto é utilizado um sistema paralelo de coleta de dados, pois o processo de investigação das causas do problema envolve muitas vezes o acompanhamento de novas variáveis no processo. Neste sentido, algumas características do sistema de informação da empresa B podem ser observadas no Quadro 6.6.

Quadro 6. 6 — Características de Qualidade Dos Dados

Características	Classificação	Observações importantes
Exatidão	Satisfatório	Necessário investir no sistema eficiente de coleta de dados
Precisão	Regular	Necessário investir no sistema eficiente de coleta de dados
Confiabilidade	Regular	Necessário investir no sistema eficiente de coleta de dados
Integridade	Satisfatório	O sistema de <i>back-up</i> é falho, muita vezes se busca determinada informação que não está no sistema.
Concisão	Satisfatório	È necessário um maior conhecimento do pessoal da área
Relevância	Satisfatório	Está baseada na solicitação do cliente, porém é pouco aproveitada como fonte de melhoria.
Compressibilidade	Satisfatório	Difícil de estabelecer às relações, desta forma torna-se complexo condensar as informações.
Significado	Insatisfatório	È carregado de significado para o cliente, entretanto, é devido ao fluxo de informação isto não representa exatamente o mesmo para a empresa
Disponibilidade	Satisfatório	A disponibilidade dos dados é obtida por meio do MRP e varias estruturas de TI baseadas em características que a empresa considera importante.
Formato	Regular	A estrutura de TI não é padronizada devido à utilização de diversos sistemas, muitas vezes é necessário fazer correções para se utilizar os dados disponíveis em diversos sistemas.
Comparabilidade	Satisfatório	O limite para comparação é 3 anos. Isto é devido à política de armazenamento de dados.

Fonte: Próprio autor

O sistema de TI funciona de maneira satisfatória dentro da organização, pois cumpre seu papel de levar as informações solicitadas até o cliente. Um ponto importante que deveria ser incorporado pela organização em primeiro lugar refere-se às informações que são repassadas para o cliente. Neste sentido, a organização apresenta um comportamento reativo atuando apenas no aparecimento de algum problema. Este comportamento influencia muitas vezes os responsáveis pela coleta de dados de maneira negativa quando isto é feito manualmente.

Assim fica a impressão por parte do coletor desses dados que seu trabalho é bem executado quando os dados estão dentro de um padrão aceitável. Já que apenas será questionado quando os dados estão fora da especificação. Isto muitas vezes este comportamento compromete a integridade dos dados além de apresentar erros que apenas será descoberto à medida que os problemas surgem em campo. Desta forma, quando se busca os dados históricos a organização percebe que estes não podem ser utilizados.

Os dados gerados pelo sistema MRP, apresentam características de qualidade melhores, apresentam características de informações financeiras e podem representar uma fonte importante para gerar melhorias. Entretanto, alguns dados relacionados ao processo produtivo muitas vezes são coletados manualmente, o que aumenta a chance de apresentar erros de medida e interpretação o que muitas vezes dificultam a coleta eficiente de dados e sua utilização como fonte de melhorias. Mesmo quando a coleta é automática os dados gerados muitas vezes são deixados de lado como fonte de possíveis melhorias, pois a organização apresenta dificuldades para lidar com um grande volume de dados correlacionados.

Checar a estabilidade do processo antes de executar os procedimentos. O controle da estabilidade do processo de produção segue os padrões estabelecidos no CEP, utilizando seus principais indicadores e conceitos de maneira eficiente. Neste sentido as alterações ou modificações no processo são postas em prática assim que o processo esteja estabilizado. Os projetos de melhoria de empresa B basicamente são projetos voltados para a resolução de problemas urgentes. Neste sentido o Seis Sigma está voltado não para a redução da variabilidade do processo, mas sim para estabilizar as características de qualidade do produto. Portanto seus projetos visam à resolução de problemas dos produtos para um posterior controle do processo produtivo.

Planejar a Fase de Experimentação. A empresa B planeja a fase experimentação. Entretanto, observa-se que a prioridade é atender os prazos e os indicadores de produtividade. Esta questão chega a interferir na condução apropriada do processo de

condução da experimentação. Muitas vezes a equipe de melhoria vê seus esforços comprometidos, pois devido a questões de programação de produção torna-se difícil a condução dos experimentos de maneira completa.

Geralmente o número de repetições fica comprometido, mas de maneira geral buscam realizar as interações de ordem superior. Apesar de elaborar um planejamento com o pessoal responsável pela produção, em muitos casos isso não é respeitado devido à necessidade de atender a flutuação do mix (volume/variedade/ prazo) da demanda.

A utilização de um modelo conceitual que considera as principais variáveis causadoras de variação. A empresa utiliza um modelo conceitual baseado em dois pilares são eles: A experiência profissional dos envolvidos no problema e os padrões de engenharia. A experiência profissional é importante e deve ser levada em conta entre tanto esta não deve ser a única forma de se desenvolver um modelo conceitual do problema, pois em muitos casos isto pode causar um viés e não alcançar os resultados esperados. Portanto, a experiência profissional ajuda a identificar algumas causas do problema. Isto pode ser potencializado por meio do uso de técnicas estatísticas que validem a opinião dos envolvidos, por meio de confirmação das causas ou o uso destas técnicas podem apontar para a necessidade de inclusão de alguma variável negligenciada inicialmente.

Validar instrumentos de medição. Uma parte interessante do processo de melhoria consiste na coleta de informações ou medição das características que estão sendo avaliadas. Neste caso a empresa B considera importante a calibração dos instrumentos de medição. Isto muitas vezes está relacionado a solicitações dos clientes via programa de qualidade adotado pela organização (QS 9000 e ISO 9000). A validação dos instrumentos de medição se dá por meio de empresas especializadas que prestam este serviço, sendo responsáveis pela aferição dos instrumentos de medição.

Verificar a significância prática dos resultados. Pode ser observado que a empresa B apresenta certa resistência à utilização de técnicas estatísticas, muito embora sua condução apropriada seja dificultada por alguns fatores, sua utilização é defendida pelos níveis mais elevados de tomadas de decisões. Neste sentido a utilização das técnicas estatísticas de um modo geral é utilizada para confirmar o modelo conceitual. Portanto, a empresa B observa a significância praticada dos resultados mediante confirmação do modelo conceitual.

Desta forma, verifica-se que existe um conflito de interesse entre as pessoas com grande experiência prática com os problemas e a aplicação das técnicas estatísticas. Assim os resultados provenientes dos métodos estatísticos apresentam um papel secundário

no sentido de tomada de decisão, pois, quando os resultados contrariam o senso comum, as decisões são baseadas na experiência prática dos envolvidos diretamente com o problema. Um ponto negativo desta situação é que em situações nas quais as causas dos problemas realmente contrariam o senso comum leva-se um determinado tempo maior no trabalho de convencimento das reais causas dos problemas.

Reconhecer a importância do conhecimento dos métodos estatísticos na resolução de problemas. A empresa B reconhece a importância do conhecimento dos métodos estatístico na resolução de problemas. Percebe-se que uma preocupação maior com esta questão é por parte da direção da organização que oferece todo apoio e treinamento em técnicas para a resolução de problemas. Por outro lado percebe-se uma grande dificuldade dos níveis operacionais em utilizar estas ferramentas. Primeiro a visão de curto prazo os pressionam no sentido da produtividade diária dificultando o desenvolvimento de projetos no médio e longo prazo. Não existe uma política de reconhecimento por boas idéias, assim o colaborador do nível operacional não se sente motivado a desenvolver questões de melhoria. Muitos dos dados levantados por eles acabam não sendo utilizado, o que acaba levando o processo de coleta de dados seja ineficiente.

O grande desafio da organização está em alinhar seus objetivos estratégicos a realidade operacional. Se por um lado a diretoria investe em treinamento em equipamentos, pelo outro a realidade operacional não compartilha do mesmo alento como relação às mudanças que devem ocorrer no sistema produtivo. Diante deste fato foi observado que a empresa passa por uma reestruturação do seu programa de qualidade. Desta forma, espera-se que os resultados esperados de longo prazo sejam alcançados.

Investir na integração do sistema de informação. É fato que a empresa investe no sistema de informação, isto inclui questões relacionada ao controle de manufatura e informações gerenciais. Apesar dos investimentos em equipamentos e *softwares* para coleta de dados observa-se que a empresa tem grande dificuldade de analisar as informações geradas pelo sistema de maneira proativa.

Outro ponto importante do sistema de informação é referente à baixa integração entre ao longo da cadeia produtiva. Os Problemas de campo, por tanto se inclui devoluções de peças dentro do prazo de garantia, ficam comprometidos a investigação de suas causas dos defeitos, já que muitas vezes faltam dados fundamentais com tempo de uso, quilometragem e até mesmo se determinada peça apresenta algum problema. Como muitas peças são partes de um conjunto, é efetuada a substituição de todo o conjunto.

Enfatizar a precisão dos resultados na utilização das técnicas estatísticas como ferramentas para a resolução de problemas. A empresa B enfatiza a precisão do uso das técnicas estatísticas. Percebe-se que a empresa utiliza os métodos estatísticos para a resolução de problemas de maneira eficiente, pois observa aos pressupostos envolvidos. A questão principal que compromete a exatidão dos resultados muitas vezes é comprometida pelo tamanho amostral e falta de comprometimento dos envolvidos com a melhoria.

6.2.3 Dimensão Sociológica e Gerencial

Garantir os recursos necessários ao longo do desenvolvimento do projeto. A empresa B não garante os recursos necessários ao longo do projeto, recursos esses que são a compra de equipamentos e treinamentos. Entretanto, não faltam recursos para sua devida condução. A empresa B não desenvolve ações planejadas de melhoria. Essas ações são baseadas nas necessidades do momento. Desta forma, não é possível previamente garantir os recursos necessários para uma condução efetiva do projeto.

Por outro lado, não faltam recursos para desenvolver as melhorias em seus produtos. Geralmente os recursos financeiros são solicitados à medida que são demandados pela equipe de melhoria. A questão principal desta forma de condução das atividades de melhorias está na insatisfação das necessidades do cliente, pois algumas vezes os produtos apresentam uma grande taxa de falha e reclamações, além de envolver a substituição das peças com problema, o que afeta a imagem da montadora.

Por se tratar do processo de melhoria, sendo uma atividade crítica para a empresa, observa-se que a garantia dos recursos ao longo do projeto deve-se principalmente a questão de sobrevivência da empresa no mercado.

Valorizar os conhecimentos dos profissionais diretamente envolvidos com o problema. A empresa valoriza muito o conhecimento dos profissionais envolvidos diretamente com os problemas apesar de não realizar programas de incentivos que recompensem às boas idéias. A participação no processo de melhoria das pessoas com alta experiência é crucial para a condução dos projetos. Muitos dos projetos são resolvidos basicamente por meio da experiência dos envolvidos.

O programa de reconhecimento e valorização dos conhecimentos dos profissionais, denominado pela organização como “programa boa idéia” surgiu na com o intuito de promover as melhorias baseado no princípio do círculo de controle da qualidade. Este programa incentivava os colaboradores por meio de ganhos financeiros a propor melhorias.

Com o passar do tempo percebeu-se o interesse neste tipo de abordagem de melhorias, pois não trazia o retorno esperado pela organização. Outras razões para a descontinuidade deste programa foi devida aos conflitos de interesse dentro da organização e problemas relacionados ao controle dos recursos financeiros aplicados à premiação dos projetos.

Alta experiência na aplicação das MDAs. A Empresa B apresenta algumas situações nas quais a utilização das MDAs poderia ser aplicada. Entretanto observa-se que a empresa faz um uso restrito destas técnicas devido ao seu desconhecimento e a falta de ênfase no treinamento destas técnicas pelas instituições responsáveis pela formação dos profissionais em ferramentas estatísticas. A organização dispõe de *softwares* estatísticos para o desenvolvimento de análises complexas, mas falta investimento em treinamento específico para o uso efetivo destas técnicas que levam em consideração aspectos práticos do uso destas técnicas.

Investir no treinamento das ferramentas analíticas. A empresa B investe no treinamento de seus colaboradores em ferramentas para a melhoria da qualidade, principalmente devido aos resultados apresentados ficarem distantes do objetivo da organização. A reestruturação do sistema da qualidade, que teve início no ano passado, passa pela ênfase em treinamento e na melhor utilização das ferramentas estatísticas para melhoria da qualidade. Esta reestruturação do sistema da qualidade envolveu o remanejamento da diretoria e uma divisão de responsabilidade. A organização espera que como essas mudanças que os principais indicadores, como a devolução de peças dentro do prazo de garantia, melhorem. Isto demonstra a confiança da diretoria da qualidade no uso apropriado das técnicas estatísticas para uma melhoria nos indicadores de desempenho da organização.

Compreensão entre os níveis gerenciais da necessidade da aplicação das MDAs. A empresa B não reconhece a necessidade da utilização das MDAs. Isto em parte pode ser aplicado pela carência de treinamentos e ao fato de como são conduzidos os projetos de melhoria. Portanto, observa-se que existe a necessidade do uso destas técnicas nos projetos de melhoria da empresa. Entretanto, por questões que carecem esclarecimento maior, esta necessidade não é sentida pela organização T.

Os atuais problemas complexos apresentados pela organização poderiam ser resolvidos pelo uso das técnicas de MDA. De fato, cada vez mais as organizações terão que ser capazes de analisar dados complexos e que muitas vezes envolvem o estabelecimento de relações obscuras ao senso comum. À medida que a aplicação deste conjunto de técnicas

ganharem popularidade como ferramenta para a melhoria da qualidade seu aproveitamento será inevitável.

Não desistir na primeira falha. A iniciação de novas técnicas estatísticas se dá por meio de treinamentos seminários e *workshops*. Um aspecto interessante da entrada de novas ferramentas estatísticas observado é que esta introdução tem sido feita de uma maneira abrupta e seu uso fortemente cobrado pela organização. Um ponto positivo desta forma de introdução de novas técnicas é que seu uso é forçado o que possibilita uma real aplicação da técnica, não ficando apenas no aspecto conceitual, mas sim prático.

Em contra partida, o aspecto negativo deste tipo de introdução de novas ferramentas se deve a resistência das pessoas ao seu uso. Esta cobrança da aplicação das novas técnicas conduz muitas vezes à utilização equivocada. Isto é, o uso em problemas em que sua utilização não é recomendada, muitas vezes desrespeitando os pressupostos. Geralmente isso gera uma descrença por parte dos utilizadores dessas técnicas, pois os resultados gerados contrariam em parte o modelo conceitual e assim, acaba tendo uma impressão negativa destas técnicas, o que leva a desistência de sua utilização.

Comunicação clara dos resultados dos projetos aos interessados. A apresentação dos resultados dos projetos de melhoria sempre é apresentada aos gerentes de área e aos principais envolvidos nos projetos. São apresentações formais dos trabalhos realizados durante as fases do DMAIC. Desta forma, é possível esclarecer algumas dúvidas que ainda persistam sobre as modificações executadas. Na maioria das vezes a técnicas estatísticas utilizadas estão presentes. Este tipo de apresentação é uma forma de incentivo para que os desenvolvimentos dos projetos sejam bem executados, além de enfatizar o uso de técnicas estatísticas.

Saber reconhecer a ocorrência de problemas multivariados. A falta de treinamento em MDA faz com que os profissionais que atuam com a melhoria desconheçam a contribuição destas técnicas para a melhoria da qualidade. Desta forma, observa-se que poucas técnicas fazem parte do conhecimento dos profissionais, além de serem vastamente subutilizadas. Esta situação reflete o baixo grau de reconhecimento das ocorrências de problemas de caráter multivariado.

Reconhecer a importância do Pensamento Estatístico. Apesar de a organização reconhecer a questão da variabilidade da relação existente entre os processos produtivos, a empresa não reconhece a ligação entre o Pensamento Estatístico e as MDAs. Neste sentido, o reconhecimento do Pensamento Estatístico, requer por parte da organização ferramentas

analítico que leva em conta a relação existente entre os processos ou as diferentes variáveis que influenciam as características da qualidade no desempenho dos produtos.

6.2.4 Viabilidade da Aplicação das MDAs na Empresa B

Conforme literatura, tudo indica que os projetos de melhoria desenvolvidos pela empresa B podem se beneficiar da aplicação das MDAs, pois grande parte de seus projetos envolvem o estabelecimento de relações complexas entre as variáveis difíceis de serem estabelecidas apenas com a experiência dos envolvidos. Neste sentido a organização deveria utilizar as MDAs como ferramentas para investigar as causas de variação das características de qualidade dos seus produtos, sendo esta a maior viabilidade da aplicação das MDAs em projetos de melhoria voltados a manufatura.

Observa-se que o processo de resolução de problemas pode se beneficiar da utilização de ferramentas capazes de classificar observações baseadas em suas próprias características. Já que estas técnicas podem ser utilizadas como ferramentas para encontrar características semelhantes entre as observações e assim identificar as principais variáveis causadoras de variação das características de qualidade.

As ferramentas de MDAs para gerar modelos de classificação, são ferramentas na fase de definição do método DMAIC. Pois tais técnicas possibilitam a redução do número de variáveis, assim favorecem os projetos no sentido de estabelecer controle mais efetivo das variáveis ou interações mais significativas que afetam as características de qualidade dos produtos. As MDAs possibilitam compreender melhor como as características das qualidades são definidas pelo processo de fabricação. Estas técnicas permitem um refinamento do modelo conceitual e desenvolver um modelo alinhado à realidade do processo produtivo.

Técnicas estatísticas como a MANOVA poderiam ser aplicadas no sentido de observar diferenças entre grupos apontando as principais diferenças entre os grupos. Isto possibilitaria uma agilidade maior na definição das causas de variação nas características da qualidade dos produtos por considerar um grande volume de dados em diversos grupos. Já as técnicas estatísticas que levam em consideração a influência das variáveis independentes nas variáveis dependentes são importantes para os projetos Seis Sigma, pois estabelecem condições de operações de processos considerando as diversas características envolvidas.

Outro ponto interessante do uso desta técnica refere-se ao seu uso no desenvolvimento de novos produtos. Por exemplo, é possível verificar como diferentes composições matéria prima afetam o desempenho final do produto. Desta forma, quando este

processo é planejado de maneira univariada pode ocasionar resultados ineficientes por não considerar interações significativas entre as diversas variáveis envolvidas.

Alguns fatores comprometem a utilização destas técnicas. Pode-se destacar que o fluxo de informações ao longo da cadeia produtiva é uma questão crítica para encontrar as causas dos problemas apresentados em campo. Pois sem as devidas informações referentes à utilização de determinada peça produzida pela organização torna-se difícil ou praticamente impossível encontrar a raiz do problema. Algumas possíveis causas dos problemas de quando podem ser observadas por meio de testes de laboratório. Entretanto é fato que as falhas ocorrem mesmo após exaustivos testes de qualidade. Desta forma, o fluxo apropriado das informações pode oferecer uma base de dados significativos para as melhorias da qualidade.

6.3 Empresa C: - Indústria de Auto Peças

A empresa estudada pertencente a um grupo multinacional presente em 31 países. Este grupo multinacional produz sistemas eletrônicos de freios e estabilidade, além dos sistemas de transmissão automática e suspensão, voltados para veículos comerciais pesados. A empresa C encontra-se instalada no interior do estado de São Paulo na macro-região de Campinas, sendo responsável pela produção dos sistemas eletrônica de freios e suspensão, para as principais montadoras de caminhões e ônibus do Brasil. Além de atender às necessidades das montadoras, sua produção supre a demanda do mercado interna por peças de reposição.

O entrevistado tem 20 anos experiência em projetos de melhoria, sendo responsável pela gerencia regional da qualidade da empresa. Além disso, o entrevistado participa do desenvolvimento e gerencia dos projetos de melhorias via abordagem Seis Sigma. Esta abordagem é a principal forma utilizada pela empresa C para desenvolver as melhorias necessárias. Além disso, faz parte da filosofia da empresa focar a MC de seus produtos como parte da rotina da empresa. O Quadro 6.7 apresenta um resumo da experiência profissional do entrevistado.

Quadro 6.7 — Pessoa Entrevistada na Empresa C

Entrevistados	<i>Seis Sigma Master Black Belt</i>
Formação profissional	Engenheiro Industrial Mecânico Administração de Empresas
Pós- graduação	MBA Gestão Empresarial Mestrado em Gestão da Qualidade
Treinamento em Seis Sigma	MBB Nacional
Último Treinamento Data / Duração:	2008 (5 Semanas)
Treinamento	Unicamp
Experiência em projetos Seis Sigma	06 Anos
Softwares estatísticos utilizados pela organização	Minitab /Excel

Fonte: Próprio autor

O Quadro 6.8 mostra a visão do entrevistado e sua opinião sobre as MDAs apresentadas neste trabalho. Como pode ser observado o entrevistado conhece todas as MDAs. Entretanto, não as utiliza com a devida frequência. Esta questão não está relacionada à falta de problemas, nas quais as técnicas possam ser empregadas, mas devido às questões relacionadas ao treinamento.

Quadro 6.8 — Aplicação Das MDAs Em Projetos Seis Sigma Na Empresa C

	Grau de importância das MDAs em projeto de melhoria					Frequência de uso das MDAs em Projetos SEIS-SIGMA					Treinamento em MDA			
	Muito Pequena	Pequena	Media	Alta	Muito Alta	Nunca	Pouco	Mediano	Frequente	Muito Frequente	Sem Treinamento	Graduação	Pós-graduação	Seis Sigma
Análise de agrupamento				X		X							X	
Análise de componentes principais					X				X				X	
Análise Fatorial					X				X				X	
Análise Discriminante				X		X							X	
Análise Multivariada de Variância				X			X						X	
Regressão Múltipla				X				X					X	

Fonte: Próprio Autor

O programa Seis Sigma da empresa C segue dois caminhos, o primeiro busca atender às necessidades de seus clientes respondendo rapidamente às situações problemáticas, e que envolvam graves falhas que impedem o aproveitamento dos itens produzidos. Apesar do rígido controle de qualidade, existem problemas que apenas são detectados tardiamente, ou na fase de montagem, comprometendo a produtividade do cliente ou aparecem em campo, quando os produtos já se encontram em poder dos usuários. A empresa busca responder

prontamente às necessidades de seus clientes, uma vez que esta situação não permite a utilização dos itens produzidos.

Em outras situações, os itens produzidos podem apresentar certos tipos de problemas que necessariamente não interfere na utilização ou qualidade. Nesta situação, o caminho utilizado pela empresa C para desenvolver suas melhorias assume um perfil proativo, já que o foco consiste no aumento da eficiência de seus produtos e processos produtivos. Neste caso, os problemas podem ser agendados e priorizados uma vez que as características funcionais dos itens produzidos não ficam comprometidas. Os projetos proativos podem abranger mudanças nos processos e ou produtos. Neste primeiro, busca-se reduzir as causas de variabilidade. No segundo caso, com base nas informações disponibilizadas por seus clientes e auxílio da Engenharia de Produto, investigam-se as diferentes possibilidades de melhoria no desempenho dos produtos.

Segundo o entrevistado, cerca de 70% dos projetos de melhoria está vinculado às necessidades de mudanças solicitadas pelo cliente. Isto faz com que atualmente a empresa C apresente um perfil reativo. Entretanto, a empresa prepara-se para nos próximos anos inverter esta proporção, desenvolvendo uma quantidade maior de projetos, que visem principalmente o aumento da durabilidade de seus produtos. O motivador principal desta mudança está na tendência de seus principais concorrentes aumentarem seus prazos de garantia, em função da durabilidade ser vista pelos usuários como um dos principais fatores considerados na compra.

A necessidade de desenvolver projetos proativos leva a organização a fomentar a equipe do escritório de projetos, por meio da inclusão e treinamento dos *Belts*. O programa Seis Sigma da empresa C seleciona a equipe de melhoria baseado no envolvimento direto das pessoas com o problema e seus conhecimentos técnicos. Outra característica do programa está na ênfase dos treinamentos em métodos estatísticos e gerencias no horário de trabalho, além da valorização financeira dos projetos apresentados pelos colaboradores.

6.3.1 Dimensão Estatística

Seguir os procedimentos analíticos. A empresa C busca seguir os procedimentos e pressupostos analíticos envolvidos nas técnicas estatísticas utilizadas, além de avaliar a influência de certas violações. Para isto, a empresa investe no treinamento constante de seus *Belts*. A empresa C enfatiza a utilização dos procedimentos estatísticos básicos e univariados em seus projetos de melhoria, apesar de conhecer e utilizar técnicas estatísticas mais sofisticadas. A utilização das MDAs pela empresa é discreta, devido ao

pouco treinamento recebido nestas ferramentas, isto também reflete na dificuldade apresentada para em analisar os pressupostos multivariados.

Observar os pressupostos das MDAs. Apesar do entrevistado conhecer as técnicas de análise multivariadas apresentadas neste trabalho há dificuldade em utilizá-las em razão da falta de treinamento mais aprofundado. A principal dificuldade relatada pelo entrevistado se trata da avaliação seguintes pressupostos: homoscedasticidade, linearidade, NM, além da seleção do tamanho amostral necessário.

Fazer análise residual. A empresa busca executar análise residuais baseadas nos métodos gráficos. Entretanto foi possível observar que o entrevistado não considera o uso das análises residuais um procedimento importante.

Fazer a transformar nos dados quando necessário. Quando os dados não tendem a uma distribuição normal, o procedimento de coleta de dados é repetido. Para a empresa C fazer transformações de dados é delicado, pois muitas vezes os níveis superiores acreditam que transformações visam iludir a situação real. Desta forma, sempre que a transformação dos dados está presentes, os níveis superiores questionam a validade dos resultados.

A não generalização para valores fora do escopo estudado. A empresa C não faz generalizações para valores fora do escopo estudado, pois tem consciência do efeito negativo deste procedimento para o processo de melhoria.

Verificar a relação existente entre a significância estatística e o poder da análise. O entrevistado desconhece a necessidade de verificar a relação existente entre a significância estatística e o poder da análise. Na visão da organização, quando a significância estatística concordar com o senso comum esta situação é considerado como suficiente.

Validar o modelo estatístico. A organização valida o modelo estatístico por meio da normalidade considerando a assimetria e curtose. Faz uso de repetições e sempre considera as interações de ordem superior entre as variáveis.

6.3.2 Dimensão Técnica e Metodológica

Verificar a qualidade de dados para desenvolver as análises. A empresa não verifica a qualidade de dados para desenvolver as análises, apenas verifica as entradas incorretas de dados por meio do método gráfico, assim a empresa acredita que é possível verificar observações atípicas, além de verificar da estabilidade do processo. Um aspecto interessante é que a empresa não apresenta procedimentos documentados para a identificação

deste tipo de observações. Portanto as ações sobre estas observações são de ordem pessoal, ajuizando-se sobre sua permanência ou eliminação.

Quadro 6.9 — Características de Qualidade Dos Dados na empresa C

Características	Classificação	Observações Importantes
Exatidão	Satisfatório	A coleta de dados é manual. Neste sentido, eventualmente apresenta-se algumas falhas.
Precisão	Satisfatório	O laboratório de metrologia dá suporte à calibração dos instrumentos de medição.
Confiabilidade	Satisfatório	É dificultada pela coleta de dados ser manual e apresentar medidas complexas como ângulos e raios.
Integridade	Regular	Existe um banco de dados e um sistema de gerenciamento de dados, que possibilitam sua utilização como fonte de melhoria.
Concisão	Regular	A coleta de dados é baseada principalmente na solicitação do cliente.
Relevância	Regular	Os dados disponíveis deveriam considerar mais as necessidades da produção
Compressibilidade	Regular	Esta relacionada ao armazenamento. Entretanto subutilizado
Significado	Excelente	As pessoas percebem sua natureza
Disponibilidade	Satisfatório	A equipe do escritório de projeto tem acesso aos dados, mas falta utilizar ferramentas estatísticas apropriadas para estabelecer as correlações.
Formato	Excelente	Os dados coletados podem ser utilizados sem a necessidade de transformação em diversos pacotes computacionais.
Comparabilidade	Satisfatório	Falta documentação acessível das melhorias efetuadas no processo.

Fonte: Próprio autor

Checar a estabilidade do processo antes de executar os procedimentos. A empresa C checar a estabilidade do processo antes de executar os procedimentos, faz isso utilizando gráficos de controle e verificando a forma de distribuição dos dados.

Planejar a fase de experimentação. A empresa C planeja a fase de experimentação, pois considera os fatores fundamentais que influenciam na variabilidade do processo antes de testá-los em situações práticas. A empresa busca estabelecer o controle sobre os principais fatores de variação, para posteriormente testá-los na linha de produção. Isto se deve a dificuldade de alteração nos fatores produtivos, em decorrência da baixa ociosidade, o que faz com que a linha de produção seja altamente utilizada em atividades produtivas, não sendo desejáveis haver interrupções prolongadas no processo.

Utilização de um modelo conceitual que considera as principais variáveis causadoras de variação. A Empresa C utiliza um modelo conceitual para desenvolver suas

melhorias baseado no DMAIC. Segundo o entrevistado, diversas vezes as relações complexas e variáveis correlacionadas estão presentes nos projetos de melhorias. A utilização de técnicas apenas univariadas podem levar a organização a não perceber correlações entre as variáveis que muitas vezes são as principais causas de variação. O modelo conceitual baseado puramente na experiência das pessoas que lidam com o problema pode apresentar falhas, neste sentido o uso das MDAs possibilitaria um refinamento do modelo conceitual e uma forma de comprovar a existência ou não das relações entre as causas e seus efeitos sugeridas inicialmente.

Validar instrumentos de medição. A empresa C valoriza seu departamento de metrologia investindo em equipamentos que assegurem a qualidade dos dados gerados pelo sistema de medição. A validação dos instrumentos de medição dá por meio da análise de R&R.

Verificar a significância prática dos resultados. A empresa C considera imperativo buscar a significância prática dos seus resultados. Desta forma, quando os resultados obtidos pelas análises, contradiz a significância práticas, estes procedimentos são refeitos, como forma de checar a exatidão dos valores obtidos.

Reconhecer a importância do conhecimento dos métodos estatísticos na resolução de problemas. A empresa C reconhece e valoriza a utilização dos métodos estatísticos dentro e fora do sistema produtivo, pois considera com importante sua utilização com ferramentas para alcançar vantagem competitiva por meio de informações sobre o comportamento dos mercados.

Investir na integração do sistema de informação. O fluxo de informação entre montadora e empresa C é deficiente, pois existe demora no repasse de informações, além de muitas vezes as informações são baseadas na percepção do cliente e não baseada em dados. A empresa apresenta uma forte integração do seu sistema de informação em questões internas, principalmente relacionadas a fatores de mercadológicos e a produtividade. Entretanto, questões relacionadas ao desempenho de seus produtos muitas vezes ficam sem resposta pela deficiência nos canais e fluxo de informações.

Enfatizar a precisão dos resultados na utilização das técnicas estatísticas como ferramentas para a resolução de problemas. A empresa C busca enfatizar a precisão dos seus resultados oferecendo treinamentos e desenvolvendo o conhecimento em ferramentas estatísticas e gerenciais para seus *Belts*. A empresa utiliza pacotes computacionais para a análise de dados complexos como o Minitab. Entretanto, observa-se que a maior dificuldade para obter precisão dos resultados está na qualidade de dados disponíveis. Muitas vezes é

utilizada uma quantidade amostral insuficiente devido pelas características do processo de produção, isto pode comprometer os resultados obtidos e conseqüentemente afetar o desempenho do projeto, além de afetar uma futura utilização destas técnicas.

6.3.3 Dimensão Sociológica e Gerencial

Garantir os recursos necessários ao longo do desenvolvimento do projeto. A empresa C realiza grandes investimentos e está interessada na redução da variabilidade de seus processos produtivos. Neste sentido, garante os recursos necessários para o desenvolvimento de seus projetos por meio de um estudo de viabilidade técnica e financeira, além de investir em treinamento e aquisição de equipamentos. A falta de recursos financeiros não consiste na maior dificuldade enfrentada para o desenvolvimento das melhorias, o fator crítico está na dificuldade em fazer as alterações no processo produtivo por dois motivos. Mudanças no processo de produção na empresa C passam pela aprovação do cliente, em alguns casos as mudanças necessárias podem gerar conflito de interesse entre empresa e cliente. O segundo motivo trata-se da dificuldade de realizar testes pela elevada taxa de utilização do processo.

Valorizar os conhecimentos dos profissionais diretamente envolvidos com o problema. A empresa valoriza o conhecimento dos profissionais envolvidos. Neste sentido, as técnicas estatísticas apresentam um papel importante para auxiliar às tomadas de decisão.

Alta experiência na aplicação das MDAs. A empresa C não apresenta uma elevada experiência na aplicação das MDAs, a inclusão destas técnicas se deu a menos de um ano, a partir da participação do entrevistado em disciplina oferecida no curso de Mestrado em gestão da qualidade. Desde então, sempre que o entrevistado se depara com problemas de características multivariadas às utiliza em seus projetos. A falta de experiência na utilização destas técnicas está relacionada ao pouco treinamento a qual o entrevistado foi submetido, principalmente em relação aos pressupostos e a possibilidades de uso destas técnicas em situações práticas, além do pouco tempo em que estas técnicas foram introduzidas na empresa.

Investir no treinamento das ferramentas analíticas. A empresa C investe no treinamento de seus colaboradores e principalmente ampliando o conjunto ferramentas estatísticas e métodos gerenciais, utilizados por seus *Belts*. Prova disto é a recente introdução das MDAs como ferramentas analíticas. Apesar de investir em treinamento, a principal fonte de introdução de novas técnicas e métodos estatísticos se dá por meio de *workshops*, seminários.

Compreensão entre os níveis gerenciais da necessidade da aplicação deste conjunto de técnicas. Os níveis gerenciais têm consciência da importância e versatilidade do uso destas técnicas. Entretanto, existe certa dificuldade em fazer com que os profissionais as utilizem, principalmente por essas técnicas serem introduzidas enfatizando o aspecto matemático. Segundo o entrevistado, os treinamentos nas MDAs deveriam abordar exemplos práticos de uso, para que os indivíduos sejam capazes de utilizar estas técnicas em situações análogas às apresentadas.

Não desistir na primeira falha. A empresa C apresenta certa persistência no uso de técnicas estatísticas, pois acredita na importância destas técnicas para a resolução de problemas. Esta persistência se dá por meio da aplicação destas técnicas novamente em outros problemas e por meio da avaliação em grupo dos motivos que levaram ao insucesso.

Comunicação clara dos resultados aos interessados. A comunicação dos resultados se dá por meio de apresentações formais, nas quais as técnicas estatísticas utilizadas para o desenvolvimento do projeto e os resultados além de possíveis esclarecimentos estarem presentes.

Saber reconhecer a ocorrência de problemas multivariados. A empresa C não apresenta dificuldade em perceber a ocorrência de problemas multivariados, pois já passou por um treinamento e conhece as principais funções das MDAs. Entretanto, têm dificuldade para a aplicação das MDAs devido a limitações nos treinamentos específicos destas técnicas.

Reconhecer a importância do Pensamento Estatístico. A empresa C reconhece a importância do Pensamento Estatístico. Neste sentido, a empresa reconhece a existência das relações entre as variáveis que compõem o problema. Entretanto, devido a limitações no treinamento a empresa C apresenta dificuldade de estabelecer essas correlações.

6.3.4 Viabilidade da Aplicação das MDAs na Empresa C

A principal aplicação das MDAs vai além de desenvolver as melhorias proativas na empresa. As MDAs podem auxiliar no desenvolvimento de seus produtos, para que estes possam apresentar uma maior durabilidade, e assim seja possível aumentar o prazo de garantia. O estabelecimento do prazo de garantia corresponde a um período de tempo em que a empresa se compromete a substituir a peça defeituosa ou que apresente defeito durante este prazo, sem custo para o usuário ou cliente. Portanto, a empresa deve aumentar a durabilidade de seus produtos. De maneira que a quantidade de itens produzidos e devolvidos dentro do prazo seja o menor possível, já que isto interfere na lucratividade e principalmente na imagem da empresa.

Atualmente a montadora (cliente) oferece um prazo de garantia de 5 anos a seus usuários. A empresa C apenas se compromete a garantir os 3 primeiros anos. Desta forma, o cliente está buscando junto à empresa C ampliar o prazo de garantia para 5 anos. Pois o cliente não quer se responsabilizar pelos possíveis custos extras desses 2 anos. Neste sentido, para satisfazer às necessidades de seus clientes a empresa C busca melhorar a durabilidade de seus produtos.

A durabilidade das peças está relacionada à redução da variabilidade dos processos produtivos, além da redução da variabilidade das matérias primas utilizada na fabricação dos itens, e principalmente relacionada ao dimensionamento apropriado dos itens que compõe seus produtos. Dos itens apresentados, o dimensionamento apropriado envolve estabelecer quais são as variáveis ou combinações de variáveis que influenciam na vida útil do produto.

O estabelecimento das variáveis que influenciam na vida útil do produto pode ser alcançado por meio do desenvolvimento do modelo conceitual e aplicação das técnicas de mineração de dados e posterior refinamento deste modelo o que torna possível estabelecer modificações no produto e processo e assim aumentar sua vida útil.

6.4 Análise dos Casos Estudados

As empresas estudadas utilizam o Seis Sigma como a principal abordagem para desenvolver suas melhorias e reconhecem a função desta abordagem em melhorar o desempenho de seus produtos e processos. Por esta razão investem na formação continuada de seus *Belts* por meio de treinamento em ferramentas técnicas e gerencial previstas nesta abordagem, além de incentivar seus BB e MBB a frequentar cursos de pós-graduação *lato sensu*. Percebendo esta situação, os entrevistados demonstraram interesse em prosseguir em seus estudos, se aprofundando no conhecimento acadêmico para desenvolver projetos cada vez mais complexos do ponto de vista do número de variáveis envolvidas, e com maior retorno financeiro.

A pesar deste investimento em treinamento e buscar sempre melhorar seus resultados, as empresas estudadas apresentam um perfil reativo, entretanto gostariam de desenvolver uma quantidade maior de projetos proativos. O Seis Sigma da empresa A apresenta o maior perfil proativo. Seu foco está no aumento da lucratividade via redução da variabilidade e desperdícios, além do aumento da eficiência de seus processos de fabricação, pois como seus produtos apresentam um baixo valor agregado em comparação com as demais

empresas estudadas, sua lucratividade está diretamente relacionada à eficiência de seu processo de produção.

Apesar das diferenças entre as empresas estudadas há alguns pontos são comuns. Neste sentido, destaca-se a consciência empresas que seus produtos e processo apresentam características multivariadas, pois apresentam um grau elevada de correlações entre as variáveis que compõe o produto e o processo produtivo, além de um número grande de variáveis envolvidas que afetam seu desempenho. Entretanto, observa-se que nestes casos as empresas trabalham de forma univariada, pois faltam experiência e conhecimentos dos *Belts* em MDAs que possibilitem trabalhar com seus projetos considerando essas correlações existentes entre as variáveis.

O Quadro 6.10 apresenta um resumo das opiniões dos entrevistados quanto à importância do uso de determinadas MDAs. Observa-se pelo quadro que as MDAs não faz parte dos cursos de graduação freqüentados pelos entrevistados. Observa-se ainda que a introdução destas técnicas concentra-se nos cursos de especialização e pós-graduação. Apesar de alguns entrevistados não serem treinados nestas técnicas, obtiveram contato com elas em algum momento de suas carreiras, seja por um problema específico que necessitou de uma consultoria especializada, sejam as MDAs introduzidas na organização via profissionais que as conheçam. Com relação ao grau de importância, observa-se que as respostas indicam a importância destas técnicas para desenvolver os projetos de melhoria Seis Sigma. Com relação à freqüência de uso observa-se que estas técnicas não são freqüentemente utilizadas apesar das possibilidades presentes nas empresas estudadas.

Quadro 6. 10 — Comparativo da aplicação das MDAs em projetos Seis Sigma nas empresas estudadas

	Grau de importância das MDAs em projeto de melhoria					Frequência de uso das MDAs projetos Seis Sigma					Treinamento em MDA			
	Muito Pequena	Pequena	Media	Alta	Muito Alta	Nunca	Pouco	Mediano	Frequente	Muito Frequente	Sem Treinamento	Graduação	Pós-graduação	Seis Sigma
Análise de Agrupamento		A	B	C		A B C					A		C	B
Análise de Componentes Principais				B	C A	B		A	C		B		C A	
Análise Fatorial				B	C A	A	B		C		A		C	B
Análise Discriminante			A B	C		A B C					A B		C	
Análise Multivariada de Variância		B		C	A	B	C	A			B		C	A
Regressão Múltipla		B		C	A		B	C		A			C	A B

Fonte: Próprio autor

6.4.1 Dimensão Estatística

Seguir os Procedimentos Analíticos. As empresas estudadas buscam seguir os procedimentos analíticos de maneira apropriada. Entretanto, a condução adequada das análises é dificultada por alguns fatores, tais como: a impossibilidade de gerar experimentos completos, a não utilização do tamanho amostral adequado, dificuldade de realizar *setups*, impossibilidade de realizar testes no processo produtivo por conta do volume de produção, pelo desconhecimento dos pressupostos envolvidos.

Observar aos pressupostos das MDAs. As empresa estudadas utilizam as técnicas estatísticas apropriadas para cada objetivo específicos, além do tipo de variáveis recomendada para cada procedimento. As empresas observam a presença de *outlier*, entretanto apresentam dificuldade em lidar com esta situação. A principal dificuldade está em analisar os pressupostos como NM, multicolinearida e linearidade, bem como o utilizar o tamanho amostral recomendado para cada MDA.

Fazer análise residual. A empresa A é a única das empresas estudadas que enfatiza o uso da análise residual em seus procedimentos analíticos, às demais não consideram isto um procedimento importante.

Transformar nos dados quando necessário. De maneira geral, as empresas estudadas apresentam dificuldade em fazer transformação dos dados, pois consideram difícil explicar para pessoas que não conhecem estes procedimentos sua verdadeira função. Muitas vezes, as empresas optam por não fazer este procedimento, pois a interpretação equivocada deste procedimento por parte dos níveis superiores de decisão pode comprometer o desenvolvimento do projeto de melhoria.

A não generalização para valores fora do escopo estudado. As empresas estudadas não fazem generalizações para valores fora do escopo estudado, pois acreditam que o grau de certeza diminui consideravelmente e a garantia do método fica comprometida.

Verificar a relação existente entre a significância estatística e o poder da análise. As empresas estudadas não verificam a relação entre poder da análise e a significância estatística por desconhecer sua relevância para os resultados dos procedimentos.

Validar o modelo estatístico. A empresa A verifica a validade do modelo estatístico como base no método gráfico, as demais empresas estudadas desconhecem sua importância.

O Quadro 6.11 apresenta um resumo das observações referente à dimensão estatística nas empresas estudadas. Neste quadro, as posições salientadas indicam que as práticas não são satisfatoriamente seguidas.

Quadro 6. 11 — Resumo das observações referente à dimensão estatística nas empresas estudadas

Dimensão Estatística	Empresas		
	A	B	C
Seguir os Procedimentos Analíticos			
Observar aos pressupostos das MDAs			
Fazer análise residual			
Transformar os dados quando necessário			
A não generalização para valores fora do escopo estudado			
Verificar a relação existente entre a significância estatística e o poder da análise			
Validar o modelo estatístico			

Fonte: Próprio autor

6.4.2 Dimensão Técnica e Metodológica

Verificar a qualidade de dados para desenvolver as análises. Em muitos casos a coleta de dados pode ser automatizada, isto melhora qualidade se comparado com a coleta

manual, por estarem mais sujeitos a falhas. Muitos dados coletados são referentes a características exigidas pelo cliente ou envolvem a segurança.

Muitas vezes pelas características do processo a melhor escolha é a coleta manual de dados, principalmente pelas características do processo como volume de produção e alta variedade de produtos. Nestes casos, os dados coletados são armazenados e dificilmente serão utilizados como fonte de melhoria, pois sempre sua validade é questionada. Poucos dados são coletados de maneira que representem uma parcela importante da variação total do processo, sendo difícil de serem utilizados diretamente para desenvolver as melhorias, pois faltam iniciativas e ferramentas apropriadas como as MDAs para lidar com estes dados.

A saída utilizada para as empresas para desenvolver suas melhorias é a coleta de dados voltada diretamente para o projeto. Portanto, com base no modelo conceitual as empresas buscam coletar os dados relacionados ao problema. Em alguns casos para desenvolver os projetos existe uma redundância, pois os dados coletados no dia-a-dia não podem ser utilizados pela falta qualidade. Neste sentido, as coletas são refeitas para desenvolver as análises. O Quadro 6.12 apresenta um conjunto de boas práticas para melhorar a qualidade dos dados disponíveis para análise.

Quadro 6.12 — Boas práticas para melhorar a qualidade de dados

Características	Observações Importantes
Exatidão	Utilizar um sistema eficiente de coleta de dados
Precisão	Utilizar laboratório de metrologia para calibração dos instrumentos de medição. Desenvolver políticas e treinamento para coleta de dados
Confiabilidade	Governança quanto aos sistemas de coleta de dados, medições e registros
Integridade	Banco de dados permite o armazenamento e a segurança dos dados
Concisão	Evitar redundância na coleta de dados Utilizar um sistema automático de coleta e análise de dados
Relevância	Utilizar procedimentos para escolha das variáveis a serem coletadas e acompanhadas baseadas nas necessidades do processo e solicitações do cliente
Compressibilidade	Utilizar um sistema que permita estabelecer relações entre diversas variáveis
Significado	Desenvolver uma ação de educação quanto ao bom uso, entendimento e a importância de estar coletando determinado dado
Disponibilidade	Possibilitar que os dados sejam utilizados como fonte de melhoria
Formato	Evitar utilizar vários sistemas de coleta e entradas operando juntos, pois isso dificulta a utilização dos dados
Comparabilidade	È necessário utilizar uma política de armazenamento de dados que considera as mudanças efetuadas no processo ao longo do período

Fonte: Próprio autor

Checar a estabilidade do processo antes de executar os procedimentos. As empresas utilizam os gráficos de controle para checar a estabilidade do processo. Portanto, os procedimentos analíticos não prosseguem se este não oferece um mínimo de estabilidade, ou seja, livre da presença de causas assinaláveis.

Planejar a fase de experimentação. As empresas planejam a experimentação porque sua capacidade produtiva atual impede que se tenha ociosidade na linha. Isto faz com que as experimentações sejam cuidadosamente estudadas para desenvolver os testes. Outro motivo se dá pela necessidade de se obter recursos financeiros para desenvolver os projetos.

A utilização de um modelo conceitual que considera as principais variáveis causadoras de variação. As empresas adotam um modelo conceitual baseado na experiência dos envolvidos com o problema. De fato, algumas questões podem aparecer do decorrer do processo de elaboração do modelo conceitual e ficar sem respostas, pois o uso das ferramentas univariadas não considera a ocorrência de correlações complexas entre variáveis ou mesmo a negligência de alguma variável importante. Apesar dos entrevistados considerarem que seu modelo conceitual geralmente é multivariado, apresenta dificuldade de utilizar as MDAs com esta finalidade, por falta de treinamento apropriado.

Validar instrumentos de medição. As empresas utilizam principalmente a análise de RR para validar seus instrumentos de medição, além de uma sistemática para padronizar e calibrar seus instrumentos baseados em normas já estabelecidas.

Verificar a significância prática dos resultados. As empresas verificam a significância prática por meio da confirmação do modelo conceitual baseado no consenso dos envolvidos. Desta forma, quando os valores observados contradizem o modelo conceitual vigente o procedimento adotado é refazer as análises e até a coleta de dados para verificar a exatidão nas informações. Entretanto, não foi possível observar a utilização das MDAs para o desenvolvimento do modelo conceitual e avaliação da significância prática.

Reconhecer a importância do conhecimento dos métodos estatísticos na resolução de problemas. As empresas estudadas reconhecem a importância dos métodos estatísticos em geral para a melhoria da qualidade. Sendo assim as empresas investem na constante treinamento de seus *Belts* em ferramentas estatísticas e gerenciais. Entretanto observa-se que apesar do constante treinamento existe dificuldade de utilizar ferramentas estatísticas básicas pelos níveis operacionais. Com relação ao uso das MDAs os entrevistados opinam que estas são técnicas interessantes que deveriam ser mais bem aplicadas no cotidiano da organização. Embora, os entrevistados conheçam as MDAs sua utilização esbarra na falta

de treinamento apropriado e em questões como a falta de apoio dos níveis superiores de decisão.

Investir na integração do sistema de informação. As empresas estudadas investem na integração do sistema de informação e percebem a importância disto para desenvolver seus negócios. Entretanto percebe-se que grande parte dos dados gerados é subutilizada como potências fontes para melhoria devido à dificuldade que as empresas têm em utilizar as MDAs, para extrair informações relevantes sobre o processo. Outra questão sobre o a integração do sistema de informação trata-se do fluxo de informações. O fluxo de informação ao longo da cadeia produtiva poderia ser melhorado trazendo benefícios ao desenvolvimento dos produtos e processos.

Enfatizar a precisão dos resultados na utilização das técnicas estatísticas como ferramentas para a resolução de problemas. Apesar das empresas estudadas utilizarem pacotes computacionais que possibilitam uma maior precisão nas análises, muitas vezes a precisão esbarram na dificuldade de utilizar um tamanho amostral adequado e satisfação dos pressupostos envolvidos na análise. As empresas estudadas buscam enfatizar a precisão dos resultados por meio da repetição e validação das análises.

O Quadro 6.13 apresenta um resumo das observações referente à dimensão técnica e metodológica nas empresas estudadas. Neste quadro, as posições salientadas indicam que as práticas não são satisfatoriamente seguidas.

Quadro 6. 13 — Resumo das observações referente à dimensão técnica e metodológica nas empresas estudadas

Dimensão Metodológica	Empresas		
	A	B	C
Verificar a qualidade de dados para desenvolver as análises			
Checar a estabilidade do processo antes de executar os procedimentos			
Planejar a fase de experimentação			
A utilização de um modelo conceitual que considera as principais variáveis causadoras de variação			
Validar instrumentos de medição			
Verificar a significância prática dos resultados			
Reconhecer a importância do conhecimento dos métodos estatísticos na resolução de problemas.			
Investir na integração do sistema de informação.			
Enfatizar a precisão dos resultados na utilização das técnicas estatísticas como ferramentas para a resolução de problemas.			

Fonte: Próprio autor

6.4.3 Sociológica e Gerencial

Garantir os recursos necessários ao longo do desenvolvimento do projeto. A empresa A busca garantir seus recursos projetos por meio de um estudo de viabilidade técnica e financeira. As demais apresentam dificuldade em planejar seus projetos, pois são desenvolvidos à medida que as necessidades aparecem. A obtenção dos recursos esta relacionado com a necessidade de se resolver o problema.

Valorizar os conhecimentos dos profissionais diretamente envolvidos com o problema. As empresas estudadas, com exceção da empresa B, enfatizam a participação dos colaboradores envolvidos com o problema, por meio de algum sistema de recompensa. De maneira geral todas as empresas valorizam o conhecimento dos envolvidos para desenvolver suas melhorias, sendo esta a principal fonte de informações para desenvolver seu modelo conceitual.

Alta experiência na aplicação das MDAs. Apesar das empresas estudadas desenvolverem projetos seis sigma ao longo de vários anos não apresentam experiência na aplicação das MDAs significativas. Foram observadas tentativas de utilização destas técnicas para desenvolver algumas melhorias específica e para estabelecer o controle sobre o processo de produção via análise dos componentes principais de variância, MANOVA, Análise de Regressão.

Investir no treinamento das ferramentas analíticas. As empresas estudadas investem constantemente no treinamento em ferramentas estatísticas e gerenciais voltados para a abordagem Seis Sigma de seus *Belts*. Entretanto, percebe-se que treinamentos em MDAs apenas são desenvolvidos à medida que é solicitado pelo cliente.

Compreensão entre os níveis gerenciais da necessidade da aplicação das MDAs. A empresas apesar de reconhecer que seus processos são multivariados não às aplicam como ferramenta de melhoria de maneira abrangente. Outro aspecto salientado pelos entrevistados diz respeito à necessidade de apresentar exemplos práticos da utilização destas técnicas nos treinamentos para que de maneira análoga seja possível desenvolver as análises em situações semelhantes.

Não desistir na primeira falha. Quando a utilização das novas técnicas apresenta dificuldade de condução e interpretação dos resultados estes não são abandonados sem uma segunda tratativa ou buscar maiores esclarecimentos sobre a aplicação do método. As empresas estudadas reconhecem que as técnicas e ferramentas consolidadas em outras empresas podem ser uteis para o desenvolvimento de suas próprias melhorias. Neste sentido, a introdução de novas técnicas acontece por meio de observação da utilização dessas técnicas em outras empresas, *workshops* e consultorias.

Comunicação clara dos resultados dos projetos aos interessados. As empresas estudadas utilizam apresentações formais de seus resultados nos quais o uso de técnicas estatísticas está salientado.

Saber reconhecer a ocorrência de problemas multivariados. As empresas estudadas reconhecem a ocorrência de problemas multivariados, mas a dificuldade principal está na seleção apropriada da MDA a ser utilizada.

Reconhecer a importância do Pensamento Estatístico. As empresas estudadas reconhecem os princípios do Pensamento Estatístico, como a existência de relações entre os processos e o grande número de variáveis presentes nos projetos de melhoria. Entretanto, apresentam dificuldade para lidar com essas correlações devido ao pouco treinamento em MDA.

O Quadro 6.14 apresenta um resumo das observações referente à sociológica e gerencial nas empresas estudadas. Neste quadro, as posições salientadas indicam que as práticas não são satisfatoriamente seguidas.

Quadro 6. 14 — Resumo das observações referente à sociológica e gerencial nas empresas estudadas.

Sociológica e Gerencial	Empresas		
	A	B	C
Garantir os recursos necessários ao longo do desenvolvimento do projeto			
Valorizar os conhecimentos dos profissionais diretamente envolvidos com o problema			
Alta experiência na aplicação das MDAs			
Investir no treinamento das ferramentas analíticas			
Compreensão entre os níveis gerenciais da necessidade da aplicação das MDAs			
Não desistir na primeira falha			
Comunicação clara dos resultados dos projetos aos interessados			
Saber reconhecer a ocorrência de problemas multivariados			
Reconhecer a importância do Pensamento Estatístico			

Fonte: Próprio autor

6.4.4 Viabilidade da Aplicação da Análise Multivariada

Durante as entrevistas evidenciaram-se algumas situações nas quais existe viabilidade de aplicar as MDAs que são discutidas a seguir:

Desenvolver o controle sobre o processo. A aplicação de determinadas MDAs como a Análise dos Componentes Principais pode auxiliar os *Belts* a estabelecer quais são as variáveis ou interações entre elas, causadoras da variação no processo, e ainda estimar um modelo matemático de operação do processo. Desta forma, o controle sobre o processo

produtivo torna-se mais eficiente, pois baseado no modelo pode-se prever o comportamento do processo e o efeito resultante da variação de qualquer variável incluída no modelo.

Utilizar dados históricos para desenvolver melhorias proativas. Algumas características básicas dos dados históricos das empresas estudadas como coleta, utilização e fluxo podem ser destacadas. Com relação à coleta existem duas situações distintas, a coleta automatizada e a manual. Em situações, nas quais, os dados são coletados automaticamente, percebe-se um volume maior bem como uma melhor qualidade dos dados. A coleta manual apresenta características de qualidade inferiores quando tendem a ser parte da rotina da empresa. Os dados históricos não são utilizados como fonte de melhoria, pois falta conhecimento em ferramentas apropriadas para analisar um grande volume, muitas vezes correlacionados, e pela sua qualidade. O fluxo das informações no caso das empresas de autopeças é prejudicado pela falta de uma sistemática de integração e colaboração entre as partes que compõem a cadeia produtiva, esta situação gera a indisponibilidade de dados relevantes para o desenvolvimento das melhorias e resolução de problemas na manufatura.

Auxiliar no desenvolvimento de novos produtos. A disponibilidade e durabilidade são características de qualidade decisivas para a efetivação da compra. As MDAs podem ser utilizadas para desenvolver estas características nos produtos, pois certas análises podem ser empregadas. Por exemplo, no caso das autopeças, no desenvolvimento de um modelo de predição de comportamento do produto sob a ação de determinadas combinações de fatores presentes no ambiente na qual o produto sob estudo se destina e ou empregadas para determinar os principais fatores que afetam diretamente o desempenho destas características e assim fazer alterações necessárias.

Encontrar e eliminar as principais causas de variabilidade no processo. Encontrar e eliminar as causas da variabilidade no processo produtivo em muitos casos depende da experiência dos envolvidos com o problema. As MDAs podem auxiliar neste processo em primeiro lugar checando o modelo conceitual proposto apontando para a necessidade de refinamento. Após o refinamento do modelo conceitual é possível se for o caso ranquear as variáveis mais influentes na variação do processo e assim apresentar ações efetivas para a redução da variabilidade. O próximo capítulo apresenta as conclusões deste trabalho.

7 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados observados foi possível confirmar todas as proposições deste trabalho. O Seis Sigma é uma abordagem para a melhoria da qualidade como objetivos e estrutura que facilitam a aplicação das MDAs como ferramentas para a melhoria da qualidade, pois devido a sua forte ênfase estatística propicia uma estrutura que facilita a utilização destas técnicas. Portanto, conclui-se que a falta de treinamento em ferramentas multivariadas é um dos gargalos que dificultam a adoção das MDAs, a falta de estrutura e mecanismos adequados dificultam a modelagem dos problemas industriais, as MDAs podem ajudar no processo de modelagem destes problemas, as MDAs são subutilizadas pelas organizações como ferramentas para a melhoria e estas técnicas poderiam ser utilizadas pelas organizações para desenvolver projetos de melhoria proativa.

Os resultados desta pesquisa indicam ainda que as empresas estudadas podem se beneficiar da aplicação das MDAs para: melhorar o controle sobre o processo, utilizar dados históricos para desenvolver melhorias proativas, auxiliar no desenvolvimento de novos produtos, encontrar e eliminar as causas de variabilidade no processo.

As organizações muitas vezes se deparam com situações complexas que envolvem um grande número de variáveis correlacionadas que dificulta a redução da variabilidade do processo. Esta redução da variabilidade é comprometida pela falta do uso de ferramentas apropriadas para lidar com esta situação. Em decorrência disto, muitos desses problemas persistem ao longo do tempo sem solução efetiva, o que afeta negativamente sua imagem e a lucratividade. Um dos principais motivos da persistência deste tipo de problemas é a falta de treinamento e pouca difusão das MDAs no ambiente industrial.

A causa principal da não utilização das MDAs em projetos de melhoria deve-se ao desconhecimento deste conjunto de técnicas pelos profissionais que lidam com projetos de melhoria. Poucos profissionais entrevistados relataram conhecer suficientemente algumas dessas técnicas. O fator treinamento é repassado aos níveis mais elevados de tomada de decisão, que por desconhecerem estas técnicas, sentem-se inseguros em aprovar projetos que envolvam procedimentos estatísticos mais sofisticados como a transformação de dados e lidar com a presença dos *outlier*.

Os demais fatores que dificultam o uso das MDAs estão de maneira direta ou indireta relacionadas ao treinamento como a dificuldade de analisar os pressupostos envolvidos bem como a utilização do tamanho amostral ideal, a qualidade dos dados

utilizados para desenvolver as análises, fazer uso de análise residual, verificar a relação entre o poder da análise e sua significância prática, além da validação do modelo conceitual proposto. Estes fatores consistem a dificuldade que deve ser superada pela organização para um uso efetivo das MDAs como ferramentas para a melhoria da qualidade.

Comparando os resultados com a teoria verifica-se um grande potencial de uso dessas técnicas. Porém as barreiras de ordem estatística, metodológica e gerencial é observado tanto na prática como na teoria, o que complica em certa medida os constructos desta pesquisa, verifica-se ainda que os objetivos propostos foram alcançados.

Diante dos resultados e conclusões apresentadas neste trabalho, podem ser observados alguns desdobramentos e possibilidades de trabalhos futuros, tais como:

- a) desenvolver modelos e aplicações destas técnicas em projetos Seis Sigma como o objetivo de facilitar a aplicação destas técnicas pelos *Belts*,
- b) apresentar trabalhos acadêmicos que apresentem resultados o objetivo de avaliar os benefícios empíricos da aplicação destas técnicas em projetos Seis Sigma,
- c) difundir a aplicações destas ferramentas em projetos de melhoria,
- d) desenvolver trabalhos de levantamento de dados de característica generalizável para ratificar os resultados deste trabalho;
- e) trabalhos que consideram as MDAs como ferramenta para desenvolver e estabelecer o Controle Estatístico do Processo.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, C.; GUPTA, P.; WILSON, C. *Six sigma deployment*. Boston: Butterworth Heinemann, 2003. 290 p.
- AGRESTI, A. *An introduction to categorical data analysis*. New York: John Wiley, 1996. 290 p.
- ALBEANU, M.; HUNTER, I.; RADFORD, J. *Six Sigma in HR Transformation: Achieving Excellence in Service Delivery*. Farnham, Surrey, GBR: Ashgate Publishing Group, 2010. 94 p.
- ALMEIDA, D. A. *et. al.* Gestão do Conhecimento na análise de falhas: mapeamento de falhas através de sistema de informação. *Revista Produção*, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 171-188, 2006.
- AL-MISHARI, S. T.; SULIMAN, S. *Integrating Six-Sigma with other reliability improvement methods in equipment reliability and maintenance applications*. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v.14, n.1, p. 59-70, 2008.
- ANDRIETTA, J. M.; CAUCHICK MIGUEL, P. A.; MAESTRELLI, N. C. Técnicas e ferramentas utilizadas em empresas que aplicam o programa seis sigma no Brasil: resultados de uma *survey*. In: Encontro Nac. de Eng. de Produção, XXV, 2005, Porto Alegre. *Anais...*, Porto Alegre : ABEPRO, 2005. P. 1420–1427.
- ANGHEL, C. *Statistical Process Control Methods from the Viewpoint of Industrial Application*. *Economic Quality Control*, v. 16, n. 1, p. 49-63, 2001.
- ANTONY, J. *Some key things industrial engineers should know about experimental design*. *Logistics Information Management*, v. 11, n. 6, p. 386-392, 1998.
- ANTONY, J.; BANUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. *Measuring Business Excellence*, v. 6, n. 4, p. 20-27, 2002.
- ANTONY, J.; BANUELAS, R. *Six Sigma or design for six sigma*. *The TQM Magazine*, v. 16, n. 4, p. 250-263, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 9004-4**: gestão da qualidade e sistema da qualidade: diretrizes para a melhoria da qualidade. Rio de Janeiro, 1993. 23 p.
- BANUELAS, R. *et. al.* Selection of six sigma projects in the UK. *The TQM Magazine*, v.18, n. 5, p. 514-527, 2006.
- BASILEVSKY, A. *Statistical Factor Analysis and Related Methods: Theory and Applications*. New York: Wiley Interscience, 1994.
- BASU, R.; WHIRGHT, J. N. *Quality Beyond Six Sigma*. Oxford: Elsevier, 2003. 188 p.
- BESSANT, J.; CAFFYN, S. *High involvement innovation through continuous improvement*. *International Journal of Technology Management*, v. 14, n. 3, p. 7-28, 1997.

BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. *An evolutionary model of continuous improvement behavior.* **Technovation**, v. 21, p. 67-77, 2001.

BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. *An overview of continuous improvement: from the past to the present.* **Management Decision**, v. 43, n. 5, p. 761-771, 2005.

BOX, G.E.P., HUNTER, W.G., HUNTER, J.S. **Statistics for experimenters**. New York: Wiley, p.510-539, 1978.

BRUE, G. **Six Sigma for Managers**. Blacklick: McGraw-Hill Professional Publishing, 2002. 123 p.

BYRNE, G.; LUBOWE, D.; BLITZ, A. *Using Lean Six Sigma approach to drive innovation.* **Strategy and Leadership**, v. 35, n. 2, p. 5-10, 2007.

CAUCHIK-MIGUEL, P. A. *et. al.* **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CAPPELLI, L. *et. al.* *Statistical techniques for continuous improvement: a citizen's satisfaction survey,* **The TQM Journal**, v. 22, n. 3, p.267- 284, 2010.

CHAMPAGNE, M.; DUDZIC, M. *Industrial use of Multivariate Statistical Analysis for process monitoring and control. In: AMERICAN CONTROL CONFERENCE, 2., 2002, Alasca. Anais...* Alasca: IEEE, 2002. p. 594-599.

CORONADO, R. B.; ANTONY, J. *Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations.* **The TQM Magazine**, v. 14, n. 2, p. 92-99, 2002.

COSTA, A. F. B. *et. al.* *Monitoring the process mean and variance using synthetic control chart with two-stage testing.* **International Journal of Production Research**, v. 47, p. 5067-5086, 2009.

COSTA, A. F. B. *et. al.* *Gráfico de controle MCMAX para o monitoramento simultâneo do vetor de médias e da matriz de covariâncias.* **Gestão & Produção**, v. 17, p. 149-156, 2010.

COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics**. London: Chapman and Hall, 1981. 189 p.

COX, I.; GAUDARD, M. A.; RAMSEY, P. J. **Visual Six Sigma: Making Data Analysis Lean**. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2009. 492 p.

DIBRELL, C.; DAVIS, P. S.; CRAIG, J. *Fueling Innovation through Information Technology in SMEs.* **Journal of Small Business Management**, v. 46, n. 2, p. 203-218, 2008.

ECKES, G. A **Revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**. Rio de Janeiro: Campos, 2001.

EHIGIE, B. O.; MCANDREW, E. E. *Innovation, diffusion and adoption of a total quality management (TQM).* **Management Decision**, v. 43, n. 6, p. 925-940, 2005.

FÁVERO, L. P. *et. al.* **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. 1 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2009.

FERNANDES, M. M.; TURRIONI, J. B. Seleção de projetos Seis Sigma: aplicação em uma indústria do setor automobilístico. **Prod.**, São Paulo, v. 17, n. 3, Dec. 2007.

FERREIRA, K.; PONTES, M. R.; ALVES, A. Logística e troca eletrônica de informação em empresas automobilísticas e alimentícias. **Revista Produção**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 434-44, 2005.

FRIKA, D. *Statistical, technical and sociological dimensions of design of experiments*. **The TQM Journal**, v. 23, n. 4, p. 435-445, 2011.

GARCIA, J. *Análise de la información mercadológica através de la estatística multivariante*. Ciudad de Mexico, Alhambra Mexicana, 235p., 1995.

GATES, G.R.; COOKSEY, R. *Learning to manage and managing to learn*. **The Journal of Workplace Learning**, v. 10, n. 1, p. 5-14, 1998.

GIBSON, C.B.; BIRKINSHAW, J. *The antecedents, consequences and mediating role of organizational ambidexterity*. **Academy of Management Journal**, v. 47, p. 209-226, 2004.

GOH, T. N. *The role of statistical design of experiments in six sigma: perspectives of a practitioner*. **Quality Engineering**, New York, v.14, n.4, p.659-671, 2002.

GOLDSBY, T. J.; MARTICHENKO, R. **Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success**. 1. ed. Boca Raton, FL, USA: J. Ross Publishing, 2005. 242 p.

HAIR, J. F. *et. al.* **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 688p.

HOLM, O. Integrated marketing communication: from tactics to strategy, Corporate Communications. **An International Journal**, v. 11, n. 1, p. 23-33, 2006.

IMAI, M. **Gemba Kaisen: A common sense, low-cost approach to management**. McGraw-Hill, New York, 1997.

JHA, S.; NOORI, H.; MICHELA, J. L. *The dynamics of continuous improvement*. **International Journal of Quality Science**, v. 1, n. 1, p. 19-47, 1995.

JOGLEKAR, A.M. **Statistical Methods for Six Sigma: In R&D and Manufacturing**. 1ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 321p.

JOBSON, J.D. **Applied multivariate data analysis**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 1992. 731 p.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. 2 ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982. 594 p.

JORGENSEN, F.; BOER, H.; GERTSEN, F. *Jump-starting continuous improvement through self-assessment*. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 10, p. 1260-1278, 2003.

JURAN, J.M.; GODFREY, A.B. **Juran's quality handbook**. 5 ed. New York: McGraw Hill, 1999. 1872 p.

- KOURTI, T.; LEE, J.; MACGREGOR, J. F. *Experiences with industrial applications of projection methods for multivariate statistical process control*. **Computers and Chemical Engineering**, v. 20, p. S745-S750, 1996.
- KUMAR, M. *Critical success factors and hurdles to six sigma implementation: the case of a UK manufacturing SME*. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 3, n. 4, p. 333-351, 2007.
- KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. São Paulo: Gente, 1993. 245 p.
- LAM, A. **Organizational innovation**. In: FAGERBERG, J; MOWERY, D. C; NELSON, R. R. *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford: Oxford University Press, 2005. 656 p.
- LARSON, A. **Demystifying Six Sigma: a company-wide approach to continuous improvement**. 1ed. New York: Amacom, 2003. 190p.
- LIYANAGE, S.; POON P.S. *Technology and innovation management learning in the Knowledge economy: A techno-managerial approach*. **Journal of Management Development**, v. 22, n. 7, p. 579-602, 2002.
- LU, I.Y.; KUO, T.; LEE, W.P. *Examining the Effects of Information Quality on Behavioral Intention of Knowledge Management System*. **Journal of Quality**, v. 17, n. 4, p. 297-309, 2010.
- MAKRYMICHALOS, M.; et. al. *Statistical thinking and its role for industrial engineers and managers in the 21st century*. **Managerial Auditing Journal**, v. 20, n. 4, p. 354-363, 2005.
- MANLY, B. F.J. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229 p.
- MANYIKA, J. et.al. **Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity**. McKinsey Global Institute, 2011. 156 p. relatório publicado.
- MEHRJERDI, Y. Z. *Six-Sigma: methodology, tools and its future*. **Assembly Automation**, v. 31, n. 1, p. 79-88, 2011.
- MERGULHAO, R. C.; MARTINS, R. A. *Relação entre sistemas de medição de desempenho e projetos Seis Sigma: estudo de caso múltiplo*. **Prod.**, São Paulo, v. 18, n. 2, 2008.
- MILETIC, I.; et. al. *An industrial perspective on implementing on-line applications of multivariate statistics*. **Journal of Process Control**, n. 14, p. 821-836, 2004.
- MITRA, A. *Six Sigma education: a critical role for academia*. **The TQM Magazine**, v. 16, n. 4, p. 293-302, 2004.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 463 p.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 6 ed. New York: John Wiley, 2005. 643 p.

MONTGOMERY, D. C. *A modern framework for achieving enterprise excellence. International Journal of Lean Six*, v. 1, n.1, p. 56-65, 2010.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513p.

NAKAGAWA, Y.*et. al.* *Quality improvement of steel products by using multivariate data analysis. In: SICE ANNUAL CONFERENCE*, 7., 2007, Kagawa. **Anais...** Kagawa University, 2007. p. 2428-2432.

NEHMY, R. M. Q.; PAIM, I. A desconstrução do conceito de "qualidade da informação". **Ci. Inf.**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 36-45, 1998.

OPRIME, P. C.; MENDES, G. H. S.; PIMENTA, M. L. Fatores críticos para a melhoria contínua em indústrias brasileiras. **Prod.**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 01-13. 2011.

OPRIME, P. C.; SORIANO, F.R. ; DONADONE, J. C. Análise da teoria e práticas da melhoria contínua nos programas Seis Sigma. *In: ENEGEP*, XXI, 2011, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: ABEPRO, 2011. p. 01-11.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R.P. ; CAVANAGH, R.R. **Estratégia Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark. 2001.

PEREIRA A. C. *et. al.* *Quality Control of Food Products using Image Analysis and Multivariate Statistical Tools. Ind. Eng. Chem*, v.48, n.1 p. 988-998, 2009.

PINTO, S. H. B.; CARVALHO, M. M.; HO, L. L. Implementação de programas de qualidade: um survey em empresas de grande porte no Brasil. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 13, n. 2, May 2006.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Um Guia do Conjunto de Conhecimentos do Gerenciamento de Projetos - PMBOK**. Pennsylvania, EUA, 2004.

PROJOGO, D. I.; SOHAL, A.S. *TQM and innovation: a literature review and research framework. Technovation*, v.21, n. 9, p. 539-558, set. 2001.

ROTONDARO, R. G. Método Básico: Uma visão Geral. *In: ROTONDARO, Roberto G.(Org) Seis Sigma –Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços*. São Paulo: Atlas, 2002.

ROZENFELD, H.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C. O processo de desenvolvimento de produto na fábrica do futuro. *In: ROZENFELD, H. A fábrica do futuro*. São Paulo: Banas, 2000.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Contribuições do Seis Sigma: estudos de caso em multinacionais. **Prod.**, São Paulo, v. 20, n. 1, Mar. 2010.

SCHROEDER, R. G. *et. al.* Six Sigma: *Definition and underlying theory. Journal of Operations Management*, v. 26, p. 536-554, 2008.

SCHUMPETER, J.A. **Teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, credito, juro e o ciclo econômico. 3 ed. Sao Paulo: Nova Cultural, 1988. 169 p.

SCOTT, D.W. **Multivariate density estimation: theory, practice, and visualization.** New York: John Wiley & Sons, 1992. 305p.

SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM: quatro revoluções na gestão da qualidade.** Porto Alegre: Bookman, 1997. 409 p.

SHINGO, S; FARIA L.C.Q. **kaizen e a arte do pensamento criativo: o mecanismo do pensamento científico.** Porto Alegre: Bookman Companhia, 2010. 252p.

SIVIY, J; PENN, M.; HARPER, E. **Relationships between CMMI and six sigma.** *Technical Note CMU/SEI-2005-TN-005*, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2005.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747p.

SORIANO, F.R. *et. al.* Análise da importância da aplicação da melhoria para o desempenho de empresas de manufatura. *In: SIMPEP XVIII*, 2011, BAURU. **Anais....** Bauru: UNESP, 2011.

SORIANO, F.R. *et. al.* *Comparative Analysis of Continuous Improvement Activities Among Small, Medium and Large Companies.* *In: ICPR XXI*, 2011, Stuttgart. **Anais...**, Stuttgart: Fraunhofer-Institut, 2011.

TJAHJONO, B. *et. al.* *Six Sigma: a literature review.* **International Journal of Lean Six Sigma**, v.1, n. 3, p. 216-233, 2010.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis.** :Addison-Wesley,1977. 688p.

TOLEDO, J.C. **Qualidade Industrial: conceitos, sistemas e estratégias.** São Paulo, Atlas, 1987.

TOLEDO, J. C. *et. al.* . Fatores críticos de sucesso no gerenciamento de projetos de desenvolvimento de produto em empresas de base tecnológica de pequeno e médio porte. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 15, n. 1, Apr. 2008 .

TORNESSEN, T. *Process improvement and the human factor.* **Total Quality Management**, v.11, n. 4/5, p. 773-778, 2005.

WERKEMA, M.C.C. **Criando a cultura Seis Sigma.** Rio de Janeiro. Qualitymark, v. 1, 2002.

YANG, K. *Multivariate statistical methods and Six-Sigma.* **Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 1, n. 1, p. 76-96, 2004.

YANG, K; TREWN, J. **Multivariate Statistical Methods in Quality Management.** New York: McGraw-Hill, 2004. 299 p.

YOUNG, H. K; FRANK, T. *Benefits, obstacles and future of six sigma approach.* **Technovation** , v.26, n. 1, p. 708-715, 2006.

YUE, Q.; WANG, L.; *The System Reform of Industrial Information Service Oriented to Enterprise Innovation. In: FUTURE INFORMATION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT ENGINEERING*, 8., 2008, Leicestershire. **Anais...** Leicestershire: IEEE, 2008. p. 521-524.

ZHENG, L. *et. al. Application of Multivariate Statistical Analysis in Batch Processes. Ind. Eng. Chem. Res* , v. 40, n.1, p.1641-1649, 2001.

APÊNDICE A - Questionário

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – DEP

IDENTIFICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Número do questionário: (____)

DATA DA ENTREVISTA

Data: ____/____/____

DADOS CADASTRAIS

A pessoa a ser entrevistada deve ser necessariamente o responsável pelo desenvolvimento de projetos seis-sigma.

Nome do entrevistado:

Função

Telefone para contato

Email de contato

Formação profissional

Graduação:

Pós- graduação

Cursos em seis-sigma (nacional e internacional) Data / Duração:/ Onde:

Participação em eventos voltados para o seis-sigma/ duração e quando:

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL DO ENTREVISTADO EM PROJETOS SEIS-SIGMA

A quantos anos atua em projetos seis-sigma?

Em quantos projetos aproximadamente atuou como (MBB, GB, BB, CH)

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS MULTIVARIADAS

1. Responda sobre o seu grau de importância das seguintes técnicas estatísticas na solução de problemas da sua empresa. Informe a frequência de uso na sua empresa das seguintes técnicas em projetos SEIS-SIGMA e onde obteve treinamento nas seguintes técnicas/ horas de treinamento.

	Grau de importância das técnicas estatísticas no projeto de melhoria					Frequência de uso das seguintes técnicas em projetos SEIS-SIGMA				Treinamento nas seguintes técnicas/ horas de treinamento				
	Muito Pequena	Pequena	Media	Alta	Muito Alta	Nunca	Pouco	Mediano	Frequente	Muito Frequente	Sem treinamento	Graduação	Pós-graduação	Especialização
Análise de agrupamento														
Análise de componentes principais														
Análise Fatorial														
Análise Discriminante														
Análise Multivariada de Variância														
Design de Experimentos														
Regressão Múltipla														

2. Qual o seu grau de satisfação em relação às características das informações dos projetos de melhoria apresentado abaixo?

Características Das Informações	Excelente	Satisfatória	Regular	Insatisfatória	O que é necessário mudar?
Exatidão					
Precisão					
Confiabilidade					
Integridade					
Concisão					
Relevância					
Compressibilidade					
Significado					
Disponibilidade					
Formato					

Comparabilidade					

FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS DIMENSÃO ESTATÍSTICA/PRESSUPOSTOS

3. Como você obtém precisão das análises estatística:
 - a. São executadas repetições nos procedimentos de análise afim de que se obtenha uma maior precisão das análises.
 - b. Acreditar que quanto maior o número de observações é o melhor. Uso sempre experimentos Full.

4. Como você valida o modelo/análise estatística e por quê?
 - a. Testa a normalidade pelo método do Qui-quadrado.
 - b. Testa a Normalidade pelo método gráfico.
 - c. Pela análise de resíduo.
 - d. Testa a normalidade pelo método Smirnov-Komorove
 - e. Análise de Assimetria e Kurtose.
 - f. Na análise multivariada pelo alfa Cronbach ou análises de covariância/correlação.

5. Qual o seu procedimento quando os dados não seguem uma distribuição Normal Faz uma transformação de dados qual?

.

6. Como são validados os resultados dos dados/conclusões obtidas minimizando falsos positivos?
 - a. Valida por meios de novos testes/experimentos.
 - b. Acompanha a implementação das ações.

7. Em um DOE você analisa sempre os efeitos de interações?
 - a. Sempre testa modelo com interações de ordem superior.
 - b. Minimizo os confundimentos usando experimentos FULL.

8. Se necessário transformar dados para uma melhor aderência aos pressupostos?

9. Consideram os efeitos principais suas possíveis interações entre as variáveis quando desenvolve as análises?

10. Faz generalização para valores fora do escopo estudado?

PRESSUPOSTOS DAS TÉCNICAS MULTIVARIADAS

11. Faz parte do cotidiano dos projetos seis-sigma lidarem com o conceito:
 - a. Normalidade Multivariada
 - b. Realizarem Teste De Homoscedadacidade
 - c. Realizarem Teste De Linearidade

12. Qual a conduta para lidar com os dados perdidos em projetos seis-sigma?
13. Como verifica a entrada de dados incorretos ou perdidos?
14. Como é observada a relação existente entre a significância estatística e o poder de análise?

DIMENSÃO TÉCNICAS E METODOLÓGICAS

15. Utiliza dados históricos como um grande experimento. Caso sim, como é garantido a confiabilidade dos dados?
16. Como checa a estabilidade do processo antes de realizar os procedimentos analíticos?
17. Os procedimentos analíticos têm sua execução planejada? Que fatores são considerados?
18. Como identifica os fatores-chaves de variação no processo (técnicas)?
 - a. Por meio da experiência dos técnicos/engenheiros
 - b. Por meio de testes-pilotos
 - c. Com base em dados históricos
 - d. Por experimentos Screen (Burman-Black)
19. Levam em consideração as diferentes unidades de medidas nos procedimentos estatísticos por quê?
20. Como valida os instrumentos de medição (técnicas, normas) por quê?
21. Executa testes-piloto para checar possíveis fatores que atuam no processo?
22. Como minimiza os custos de experimentação ou minimiza restrições técnicas?
 - a. Fraciono os experimentos negligenciando interações de ordem superior.
 - b. Reduzindo testes
 - c. Split plot
23. O que pesa mais no planejamento dos estudos estatísticos:
 - a. Precisão dos resultados.
 - b. Custo.
 - c. Tempo.
 - d. Restrições técnicas (impossibilidade de setup)
24. Qual a importância do time (conhecimento técnico das pessoas) na aplicação das técnicas estatísticas

- a. Alto
- b. Médio
- c. Baixo

25. Qual é em sua opinião a importância do conhecimento de métodos estatísticos (uni e multivariado) na solução de problemas

- a. Alto
- b. Médio
- c. Baixo

SOCIOLÓGICA E GERÊNCIAL

26. Em sua opinião a organização aplicar muito dos recursos no primeiro conjunto de experimentos que consequência isso trás?

27. Existe uma ênfase excessiva no uso de técnica estatística. Aplicar ferramentas estatísticas em questões alheias ao processo de melhoria? Quais? Como?

28. Como se dá a comunicação entre os níveis gerenciais com relação à aplicação das técnicas estatísticas?

- a. As apresentações dos resultados são formais.
- b. Apresentações informais e não programas
- c. Relatório

29. Qual a atitude da organização quando um novo procedimento analítico é apresentado?

- a. Aceita imediatamente
- b. Busca maiores conhecimentos
- c. Realiza piloto

30. Quando um método novo não gera resultados esperados:

- a. Eles são esquecidos?
- b. Persiste no uso?
- c. Maior intensidade de treinamento?
- d. Outras.

31. Como se dá a introdução de novas ferramentas/ técnicas/ métodos para a melhoria?

- a. Treinamentos
- b. Workshop
- c. Seminários

32. Na apresentação dos resultados de um trabalho, as técnicas estatísticas estão sempre presentes?

- a. Raramente
- b. Sempre
- c. Nunca
- d. Na maioria das vezes.

33. Como a empresa organiza/monta a equipe de melhoria (atividade dos *Belts*/ dedicação número de *Belts* por colaboradores)

- a. Baseado no conhecimento técnico
- b. Do envolvimento da pessoa no problema
- c. No envolvimento da pessoa nas ações
- d. Como mecanismo motivador

34. Como e executado o treinamento dos trabalhadores de todos os níveis em ferramentas e métodos para a resolução de problemas? E Qual a frequência destes treinamentos?
- Fora do horário de trabalho
 - No horário de trabalho
 - Raramente há treinamentos em métodos estatísticos de solução de problemas.
 - Sempre há treinamento
 - O treinamento está aquém do necessário.
35. Como a organização dá ênfase a melhoria contínua?
- Faz parte da rotina da empresa.
 - Por meio de ações esporádicas
 - Por meio da abordagem Six Sigma e outras quais?
36. Existe um mecanismo de reconhecimento de sucesso (Boas idéias)?
- Não
 - Reconhecimento não financeiro
 - Financeiro
 - Promoção
37. Acredita que seus processos produtivos apresentam variabilidade mesmo após sucessivos projetos de melhoria?
38. Os projetos de melhoria apresentam variáveis correlacionadas e situações complexas?
39. Considera que o perfil da organização para identificar os problemas seja:
- Reativo
 - Proativo
 - Controle
40. Quais programas estatísticos utilizam? A interface dos programas estatísticos utilizados pela organização é agradável ao usuário do sistema? Em sua opinião alguma coisa poderia mudar na interface?
41. Considera que os resultados dos métodos estatísticos sofisticados são difíceis de interpretação?
42. O desenvolvimento do modelo conceitual do problema é bem desenvolvido?
43. O sistema de informação atualmente disponível facilita o aprendizado organizacional? O que é necessário mudar?
44. Qual é o nível de reconhecimento e valorização no uso de métodos estatístico;
- O que importa são os resultados
 - Pouca atenção importância é dada ao uso das técnicas
 - É muito valorizada pela gerência e administração superior
 - Não consigo identificar a posição da gerência sobre o assunto.

45. Acredita que os métodos estatísticos atualmente utilizado em sua organização permitem responder a todas as questões de investigação colocadas? Por que?
46. Em sua opinião qual a maior dificuldade para a utilização de métodos estatísticos *multivariado* como ferramenta de melhoria da qualidade em projetos seis-sigma?
47. Acredita que projetos seis-sigma possam se beneficiar de ferramentas estatísticas que classificam as observações considerando diversas variáveis simultaneamente para formar grupos (2 ou mais) baseados em suas semelhanças?
- Sim _____ Não _____
- Por quê?
48. Acredita que uma técnica que utiliza os elementos pertencentes ao grupo para gerar um modelo de classificação e que permita ainda classificar futuras observações seja útil em projetos seis-sigma?
- Sim _____ Não _____
- Por quê?
49. Acredita que projetos seis-sigma possam se beneficiar de uma técnica estatística que permita descrever um conjunto de variáveis por meio de um número menor de fatores e assim obter uma melhor compreensão do relacionamento das variáveis?
- Sim _____ Não _____
- Por quê?
50. Acredita que projetos seis-sigma possam se beneficiar de uma técnica estatística para examinar a diferença geral entre diversas medidas dependentes (subgrupos) respectivamente imperceptíveis para os testes univariados?
- Sim _____ Não _____
- Por quê?
51. Acredita que projetos seis-sigma possam se beneficiar de uma técnica estatística utilizada para determinar a influência das variáveis independentes na variável dependente; determinar valores para a variável dependente que reduza a variabilidade; e para atingir a exigência nominal; minimizar o efeito das variáveis não-controláveis?
- Sim _____ Não _____
- Por quê?