

TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTIVARIADA NAS ETAPAS DO DMAIC: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA MULTIVARIATE DATA ANALYSIS AT DMAIC STAGES: A SYSEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

Bárbara Ruiz de Negreiros Guimarães¹

1 Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Campus Centro Politécnico, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, 4º andar, Jardim das Américas, CEP 81530-000, Curitiba, PR, Brasil, e-mail: barbararuiz.ufpr@gmail.com

Marcos Augusto Mendes Marques²

2 Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Campus Centro Politécnico, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, 4º andar, Jardim das Américas, CEP 81530-000, Curitiba, PR, Brasil, e-mail: marquesammarcos@gmail.com

Resumo: Por meio da melhoria contínua da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação dos clientes e consumidores, as empresas buscam aumentar seus desempenhos e lucratividade. Quanto mais complexas as necessidades dos clientes, mais se confere ao processo de manufatura o caráter multivariado. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sistemática da literatura com base nos trabalhos que associem as técnicas de análise multivariada no âmbito da Engenharia da Qualidade às etapas do DMAIC (*define, measure, analyse, improve e control*), no campo da Gestão da Qualidade. Para isso, iniciou-se o estudo com uma busca sistemática realizada com base em palavras-chave de técnicas multivariadas em conjunto com a palavra-chave DMAIC, para a definição da base de publicações e posterior tabulação e estratificação do corpo de artigos definidos, evidenciando publicações por país de origem, ano de publicação e área de pesquisa, com vistas a contribuir com pesquisadores, pesquisas futuras e com a comunidade científica e industrial.

Palavras-chave: Análise Multivariada. DMAIC. Revisão Sistemática da Literatura. Qualidade.

Abstract: *By means of the continuous improvement of product and process quality and of the increasing customer and client satisfaction, companies have been seeking to rise performance and profitability. As customer necessity grows in complexity, so does the multivariate character of the manufacturing process. For this reason the present article aims to systematically review the available literature based on papers that associate techniques of multivariate analysis in the field of Quality Engineering and the steps of DMAIC (define, measure, analyse, improve and control) in the field of Quality Management. In order to do that, firstly, a systematic search based on keywords of multivariate techniques and DMAIC took place, looking to define base publications. Afterwards, the data was put into timetables highlighting publications by country, publication date and research area with the goal of providing help to researchers, future researches and the scientific community.*

Keywords: *Multivariate Analysis. DMAIC. Systematic Review. Quality.*

1 INTRODUÇÃO (ABNT: o espaço deve ser idêntico antes/depois)

A competitividade e o conhecimento consciente acerca da qualidade nos mercados globais têm

crescido significativamente de modo a afetar o ambiente das organizações, bem como seu funcionamento, rentabilidade e desempenho. Diante disso, torna-se indispensável a adoção de técnicas eficientes que possibilitem o atendimento das necessidades e expectativas dos clientes e melhorem a eficiência das suas operações garantindo-lhes vantagem competitiva (Lopes, 2014). Como consequência, as organizações buscam continuamente estratégias de melhoria da qualidade dos processos, dos produtos e a diferenciação frente aos concorrentes, visando aumentar a satisfação dos consumidores e o crescimento das receitas (Buyukozkan & Ozturkcan, 2010).

A partir da década de 90, muitas empresas adotaram o Seis Sigma como um programa de qualidade que retornava rapidamente benefícios financeiros e estratégicos de maneira tangível, objetivando atingir a excelência de produtos e serviços, bem como suas necessidades e expectativas (Werkema, 2012).

Uma importante fase no desenvolvimento do Seis Sigma é a aplicação do DMAIC, um método estruturado para definição e solução de problemas. A sigla DMAIC vem de Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyse*), Implementar (*Improve*) e Controlar (*Control*).

No entanto, quanto mais complexos forem as necessidades dos clientes e consumidores, mais características da qualidade serão necessárias para atingir as suas expectativas. Este perfil de exigência dos clientes atuais vai além do âmbito da gestão e pode conferir aos processos de manufatura o caráter multivariado (Paiva, 2006).

A visualização dos processos multivariados aplicados ao Seis Sigma - mais especificamente ao DMAIC -, ou seja, a união da Gestão da Qualidade e da Engenharia da Qualidade, desperta o interesse da pesquisa de revisão da literatura com a finalidade de estruturar quais metodologias multivariadas podem ser aplicadas nas etapas do DMAIC.

Sendo assim, o objetivo deste artigo é pesquisar as publicações existentes na literatura sobre este assunto até o momento, qual o desenvolvimento do tema e quais as abordagens que os autores consultados apresentam, visando contribuir com as pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresenta uma breve revisão sobre a metodologia Seis Sigmas, DMAIC e as principais técnicas de análise multivariada.

2.1 DMAIC

O Seis Sigma é uma abordagem desenvolvida para a melhoria de qualidade e utiliza ferramentas como o DMAIC, que prevê uma sequência lógica de cinco etapas ou fases definidas: Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar (Sokovic, 2010).

Segundo Anjos & Silva (2010), as fases do DMAIC podem ser descritas da seguinte forma:

- Definir: Busca identificar as necessidades e requisitos junto aos clientes, associando-os aos objetivos estratégicos da empresa. Os problemas são definidos de forma clara e objetiva para então se definir processos críticos que deverão se tornar projetos realizados como oportunidade de melhoria ou economia, trazendo benefício à empresa;
- Medir: Aplicação de ferramentas estatísticas para traçar o estado atual dos processos a serem trabalhados, estabelecendo-se metas de aprimoramento e resultados;
- Analisar: A partir do uso de ferramentas determinam-se as causas fundamentais do problema prioritário associado a cada uma das metas definidas na etapa anterior. Nesta etapa evita-se a identificação de consequências e das variáveis que podem interferir no processo;
- Implementar: Utilizam-se ferramentas estatísticas e operacionais para melhoria dos processos, ações e alterações para eliminação do problema alvo. O processo é modificado para que se alcance metas e melhorias estabelecidas;
- Controlar: Aplicação de ferramentas com o intuito de manter as melhorias alcançadas e torná-las resolutivas de forma padrão.

É comum o uso exclusivo de procedimentos univariados para análise de dados, no entanto, como as características funcionais de um produto ou serviço podem ter mais de uma variável de interesse, é necessário que os conjuntos de dados multivariados sejam analisados unidos às ferramentas estatísticas da análise multivariada para se identificar elementos que podem ter relevância na análise dos dados.

2.2 Análise Multivariada

Toda pesquisa de cunho experimental ou observacional trabalha com dados que precisam ser descritos, explorados e analisados e, para servir a tais fins, a Análise Multivariada é largamente utilizada, uma vez que compreende extenso conjunto de métodos e procedimentos que representam mais de uma característica de uma amostra ou população.

A realização de uma análise multivariada de dados envolve uma multiplicidade de conceitos estatísticos e matemáticos que, para Marques (2005), “é utilizada nos casos onde os dados de um ou mais objetos de interesse de uma amostra são mensurados por medidas simultâneas ou por diversas variáveis de interesse”. Vale dizer que qualquer amostra com duas ou mais variáveis de interesse é caracterizada como multivariada.

Tal modalidade analítica, a multivariada, compreende várias técnicas e algumas, segundo Kendall (1980), distinguem-se em:

- Regressão múltipla: é o modelo de análise que melhor se adequa quando o problema envolve uma única variável dependente métrica que está relacionada a mais de uma variável independente métrica. Tem como principal objetivo prever mudanças na variável dependente com base nas mudanças ocorridas nas independentes (Hair *et al.*, 2014);
- Gráfico de controle multivariado: serve para detectar alterações no vetor de médias de processos multivariados e pelo gráfico da variância generalizada, que serve para diagnosticar alterações na matriz de covariâncias. Assim, é possível analisar variáveis que têm correlação entre si em interpretações enganosas por múltiplos gráficos univariados (Costa *et al.*, 2010);
- Análise discriminante múltipla: serve para prever a associação ao grupo a partir de um conjunto de duas ou mais variáveis contínuas. (A análise discriminante) e se aplica quando a amostra total pode ser subdividida em grupos com base em uma variável dependente não-métrica que caracteriza diversas classes conhecidas. A análise cria um conjunto de funções discriminantes que permitem prever em qual grupo um caso cai, com base nos scores das variáveis preditoras, geralmente contínuas (Hair *et al.*, 2014);
- Análise de *cluster*: em uma análise de *cluster*, o objetivo é agrupar variáveis ou casos em grupos que compartilham características em comum. Para tanto, é possível agrupar casos com base em variáveis e padronizar pontuações dos resultados

obtidos. Assim, as variáveis passam a ser medidas em uma mesma escala e são igualmente ponderadas possibilitando realizar as devidas comparações (Karl, 2017). Segundo Hyötyniemi (2001), outro ponto importante é que não existem soluções exclusivas para o problema de *clustering* de dados e, geralmente, é baseado em algoritmos mais ou menos heurísticos. Por causa da natureza não-linear e não-contínua do problema de *clustering*, os algoritmos existentes são de modo geral por tentativa e erro;

- **Análise estrutural:** o modelo de análise estrutural permite separar relações para cada conjunto de variáveis dependentes, sendo baseado em caminhos que relacionam variáveis dependentes e independentes permitindo apenas uma relação entre tais variáveis (Hair *et al.*, 2014);
- **Análise de componente principal (PCA):** é um modelo paramétrico que reduz e classifica o número de variáveis extraíndo aquelas com uma maior porcentagem de variância nos dados (chamados componentes principais) sem perda significativa de informação (Morison, 1976). O PCA transforma um conjunto de variáveis correlacionadas em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas. Basicamente, a extração de componentes principais equivale a uma maximização de variância do espaço variável original. Ou seja, a meta é maximizar a variação das componentes principais e minimizar a variação em torno das componentes principais;
- **Análise fatorial:** o modelo de análise fatorial supõe que as variáveis podem ser agrupadas por suas correlações e que os agrupamentos possuem pouca relação entre si (Marques, 2005). Embora semelhante ao PCA, a análise fatorial se difere desse em um aspecto importante. O modelo assume que a variabilidade de uma variável tem duas partes. A primeira parte, chamada de variabilidade comum, é influenciada por outras variáveis no conjunto de dados. A segunda parte da variabilidade é independente do efeito de outras variáveis, isto é, é de origem aleatória. Assim, de certa forma, a análise fatorial pode ser melhor em descrever sistemas onde nem todas as variações provêm de interações de variáveis isoladas. Matematicamente falando, a análise fatorial assume que a variância de uma variável pode ser dividida em duas partes aditivas. A partição fundamental é aquela entre a

parte da variação que uma variável compartilha com outras variáveis, sua variação comum e a parte que não é compartilhada, sua variação exclusiva (Kumar, 1999);

- Análise multivariada de variância e covariância: MANOVA (*multiple analysis of variance*) é parte do modelo linear generalizado - uma família de procedimentos estatísticos que é usado para quantificar a força entre as variáveis (Zientek & Thompson, 2009). A MANOVA basicamente é uma ANOVA que foi matematicamente estendido para aplicar a situações onde existem duas ou mais variáveis dependentes (Stevens, 2002).

Apesar de existirem vários modelos para a análise multivariada, no presente trabalho em questão nem todos serão abordados. Tal ocorre porque nos últimos seis anos não foram utilizados todos os tipos de análises multivariadas nas fases do DMAIC.

3 METODOLOGIA

Nesta seção se apresenta a caracterização da pesquisa quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos (Gil, 2008) e na sequência o protocolo de pesquisa com seus materiais e métodos.

3.1 Classificação da Pesquisa

A revisão sistemática da literatura trata-se de um tipo de investigação focada e com parâmetros bem definidos e tem como objetivo definir, analisar e sintetizar as informações relevantes disponíveis.

O estudo de revisão sistemática da literatura foi conduzido segundo a metodologia científica de Gil (2008) que aborda questões relacionadas à natureza da pesquisa como básica ou aplicada; o objetivo como exploratória, descritiva, explicativa ou normativa; quanto à abordagem como qualitativa, quantitativa ou sua combinação; e por fim, o procedimento como de experimento, modelagem/simulação, *survey*, estudo de caso, pesquisa-ação ou bibliográfica.

Desta forma, o enquadramento metodológico do tema proposto é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Enquadramento Metodológico	
Classificação	Enquadramento
Natureza	Básica
Abordagem	Qualitativa

Objetivos	Descritiva
Procedimento	Bibliográfico

Fonte: O autor (2018)

A natureza da pesquisa será classificada como básica por objetivar a geração de novos conhecimentos pertinentes para o avanço da ciência, sem a aplicação prática de resolução de problema. Quanto a abordagem, a pesquisa será qualitativa por ser descritiva, utilizar o método indutivo e ter o processo como foco principal. Seu objetivo será descritivo por observar e registrar os fatos sem, contudo, entrar no mérito dos conteúdos. Por fim, será adotado o procedimento bibliográfico, uma vez que será realizada uma revisão sistemática de publicações outrora realizadas.

Gil (2008) define ainda a pesquisa bibliográfica como um processo que envolve as etapas:

1. Escolha do tema;
2. Levantamento bibliográfico preliminar;
3. Formulação do problema;
4. Elaboração do plano provisório de assunto;
5. Busca de fontes;
6. Leitura do material;
7. Fichamento;
8. Organização lógica do assunto; e
9. Redação do texto.

Uma vez que as etapas de 1 a 4 já foram definidas e esclarecidas, as seguintes etapas serão descritas na próxima subseção 3.2.

3.2 Materiais e métodos

Para as etapas de busca de fontes (proposição), seleção, leitura do material (refinamento) e fichamento (refinamento) foi desenvolvido um protocolo de sequências lógicas representado no fluxo da Figura 1:

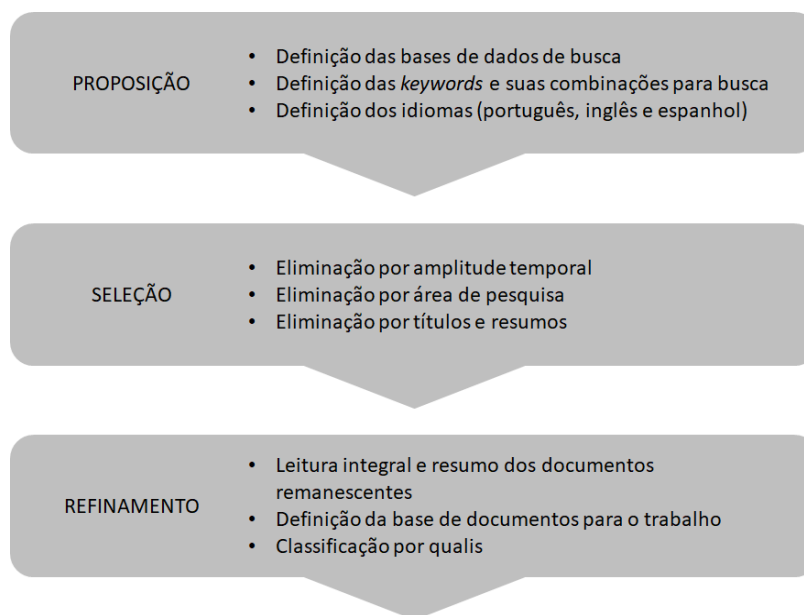


Figura 1 – Protocolo para revisão sistemática da literatura. Fonte: O Autor (2018).

Iniciando-se pelas proposições, as bases de dados *Scopus*, *SciELO*, e *Web of Science* foram estabelecidas para a realização da busca de periódicos científicos. As bases para periódicos são parte dos principais meios de veiculação de novos conhecimentos na comunidade científica (Borges, 2010). Além dos periódicos, portais de universidades renomadas no Brasil também foram utilizados para a busca de teses e dissertações.

Na sequência, as palavras-chave para a pesquisa foram definidas. Inicialmente a busca foi realizada com base nas palavras-chave da Quadro 2:

Palavras-Chave
"Multivariate Analysis" AND "DMAIC"
"Multivariate Analysis" AND "Six Sigma"
"Multivariate Analysis" AND "Quality Management"

Fonte: O Autor (2018).

Tendo em vista o detalhamento do tema e proposta do trabalho apenas um artigo foi encontrado com estas palavras-chave. Posto isso, uma nova abordagem foi realizada, a de pesquisar cada um dos métodos de análise multivariada nas fases do DMAIC. Uma nova busca por palavras-chave foi gerada (Quadro 3):

Quadro 3 – Parâmetros de busca ampliado nas bases de dados

Palavras-Chave

"Principal Component Analysis" AND "DMAIC"

"Multiple Regression" AND "DMAIC"

"Multiple Discriminant Analysis" AND "DMAIC"

"Canonical Correlation" AND "DMAIC"

"Multivariate Analysis of Variance" AND "DMAIC"

"MANOVA" AND "DMAIC"

"Conjoint Analysis" AND "DMAIC"

"Cluster Analysis" AND "DMAIC"

"Correspondence Analysis" AND "DMAIC"

"Factor Analysis" AND "DMAIC"

Fonte: O Autor (2018).

Na segunda etapa, a de seleção, critérios foram definidos de modo a eliminar as publicações que não eram de interesse para o tema da pesquisa. Para isso, três preceitos foram utilizados:

- Eliminação por amplitude temporal: foram considerados apenas publicações feitas nos últimos seis anos, ou seja, a partir de 2012;
- Eliminação por área de pesquisa: apenas as áreas de engenharia, matemática e gestão foram consideradas pois são as correlatas ao tema da pesquisa e, por fim;
- Eliminação por títulos e resumos: por mais que alguns documentos cumpram os preceitos previamente listados, isso não garante uma real aplicação dos métodos de análise multivariada em uma ou mais etapas do DMAIC. Com o objetivo de verificar em que medida a obra interessa à pesquisa, a leitura dos títulos e, principalmente, dos resumos se fez necessária. Para tanto, foi utilizado como critério de eliminação o trabalho utilizar o DMAIC como metodologia principal geral ou de uma das seções e, nesse contexto, aplicar a análise multivariada em uma de suas fases.

Na terceira e última etapa do protocolo, a etapa de refinamento, a leitura das publicações remanescentes foi realizada de maneira seletiva, respeitando os objetivos da pesquisa de modo a evitar a leitura de textos que não contribuam de fato com o desígnio proposto.

A leitura seletiva ainda não foi definitiva. Após essa nova triagem a leitura analítica e interpretativa ainda foi realizada para então definir a base de trabalhos utilizada na pesquisa. O resultado dessa leitura foi compilado como um resumo no ao final da seção 4.

Ademais, um critério de classificação foi verificado nas publicações. Este critério teve por base o Qualis, conjunto de procedimentos utilizados pela Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), na área de atuação de Engenharias III.

4 RESULTADOS

Após a realização da busca nas bases acadêmicas, ainda sem aplicação de nenhum critério de seleção, verificou-se um total de 136 publicações. Também foi possível observar que na base *SciELO*, uma biblioteca eletrônica de periódicos científicos brasileiros, houve o menor retorno pelas palavras-chave (Quadro 4), sendo identificada como uma oportunidade a ser explorada como pesquisa:

Quadro 4 – Retorno de busca por bases acadêmicas

	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>	<i>SciELO</i>	Portal de Universidades	Total
<i>Principal Component Analysis</i>	35	1	2	1	39
<i>Multiple Regression</i>	17	1	0	0	18
<i>Multiple Discriminant Analysis</i>	0	0	0	0	0
<i>Canonical Correlation</i>	1	0	0	0	1
<i>Multivariate Analysis of Variance</i>	7	0	0	0	7
<i>MANOVA</i>	3	0	0	0	3
<i>Conjoint Analysis</i>	3	0	0	0	3
<i>Cluster Analysis</i>	9	0	2	0	11
<i>Correspondence Analysis</i>	3	0	0	0	3
<i>Factor Analysis</i>	36	7	2	0	45
<i>Multivariate Control Chart</i>	5	1	0	0	6
Total	119	10	6	1	136

Fonte: O Autor (2018).

Outros parâmetros de classificação também foram considerados como a quantidade de publicações por país de origem, por ano e por área de pesquisa, a partir do critério de seleção temporal, que reduziu a base de publicações de 136 para 114 trabalhos.

O Gráfico 1 mostra o ranking elaborado por país contemplando os países que contribuíram com até 80% das publicações. Por meio dele é possível observar que os países que mais publicam

são Estados Unidos, Índia e Jordânia, somando quase 50% das publicações pelas palavras-chave analisadas. No entanto, observa-se que o enfoque de pesquisa é diferente entre os países, enquanto na Jordânia há hegemonia de PCA e Regressão Múltipla; na Índia, principalmente de Análise Fatorial, já nos Estados Unidos a concentração de pesquisa é menor. O Brasil posiciona-se logo em seguida, em quarto lugar, com 13 publicações.

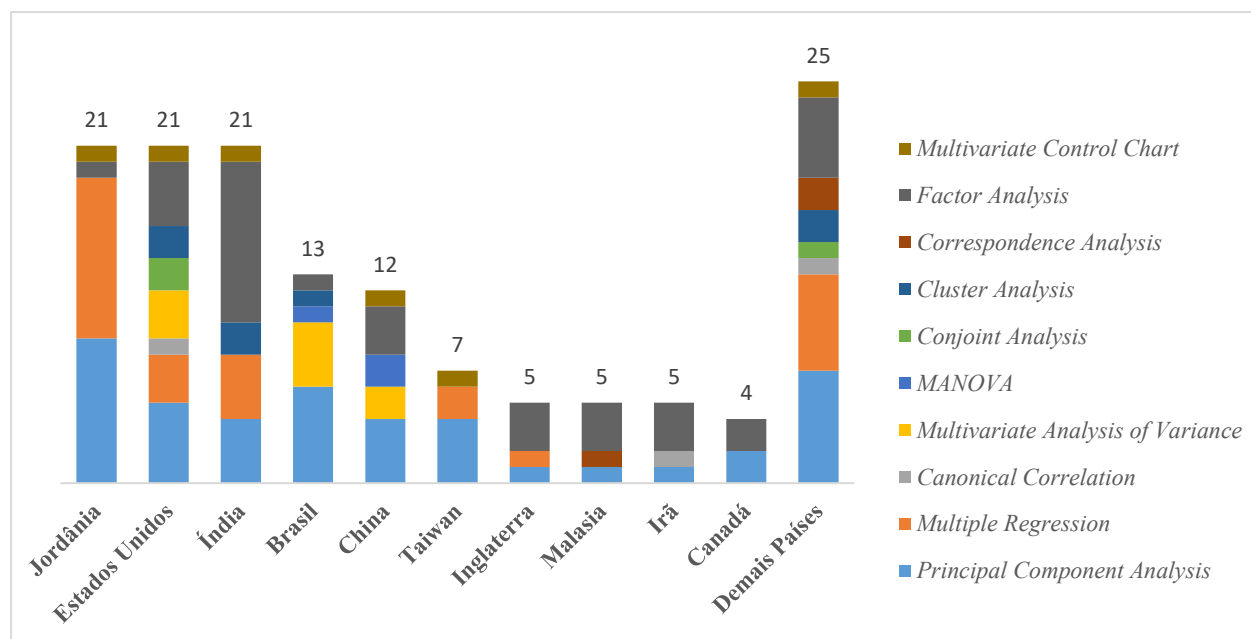


Gráfico 1 – Quantidade de publicações por país de origem
Fonte: O Autor (2018).

No que se refere à janela temporal, tomando por base os anos fechados (2017 vs. 2012), houve um crescimento de 312,5% na quantidade de publicações, o que indica tendência de crescimento nos materiais científicos nesta área de pesquisa. Quanto ao ano de 2018, o número de pesquisas até o momento é quantitativamente menor se comparado a 2017, porém, seguindo a perspectiva de crescimento verificada, é possível projetar que este número aumentará até a conclusão do ano. O crescimento ano a ano é dado pelo Gráfico 2 a seguir:

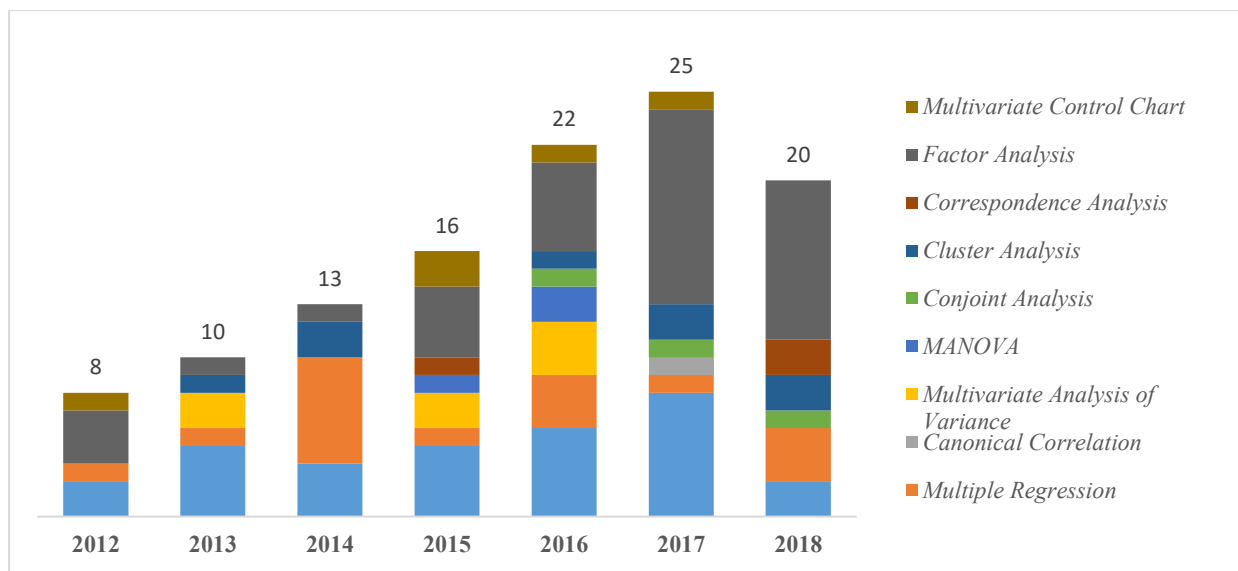


Gráfico 2 – Quantidade de publicações por ano

Fonte: O Autor (2018).

Quanto às áreas de pesquisa (Gráfico 3), a Engenharia, a Gestão e Negócios e a Ciência da Decisão são as áreas mais relevantes para o tema somando 67,8% da importância nos trabalhos. Dentro das áreas correlatas estão a Engenharia, Gestão e Negócios e Matemática, porém, antagonicamente às duas primeiras áreas verificou-se que a Matemática encontra representatividade reduzida.

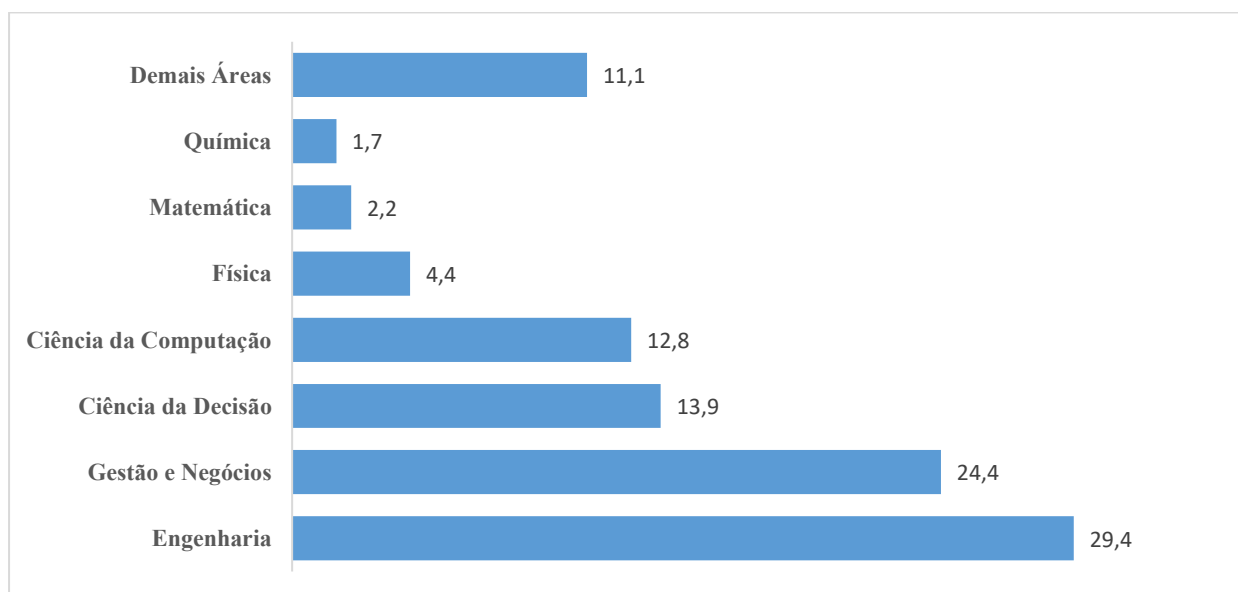


Gráfico 3 – Publicações por área de pesquisa

Fonte: O Autor (2018).

A partir disso, foram eliminadas as publicações com base na área de pesquisa. Para isso, apenas gestão, engenharia e matemática, áreas correlatas com o tema proposto, foram consideradas, gerando uma redução de 23,7% da presente base de trabalhos, resultando em 87 publicações.

Após a realização da primeira triagem, a seleção da base final foi realizada por meio da leitura dos títulos e resumos, e posterior a isso, realizou-se uma leitura mais aprofundada para assegurar que as publicações fossem, de fato, relevantes ao tema do trabalho. O resultado do procedimento descrito culminou na base de trabalhos final com 11 publicações parametrizadas segundo os Gráficos 4, 5 e 6:

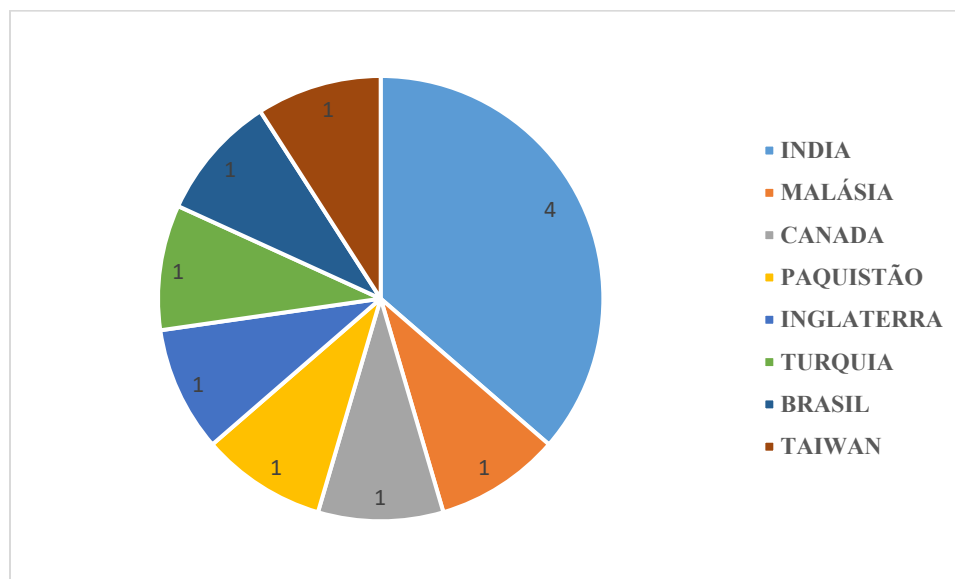


Gráfico 4 – Publicações por país de origem da base final
Fonte: O Autor (2018).

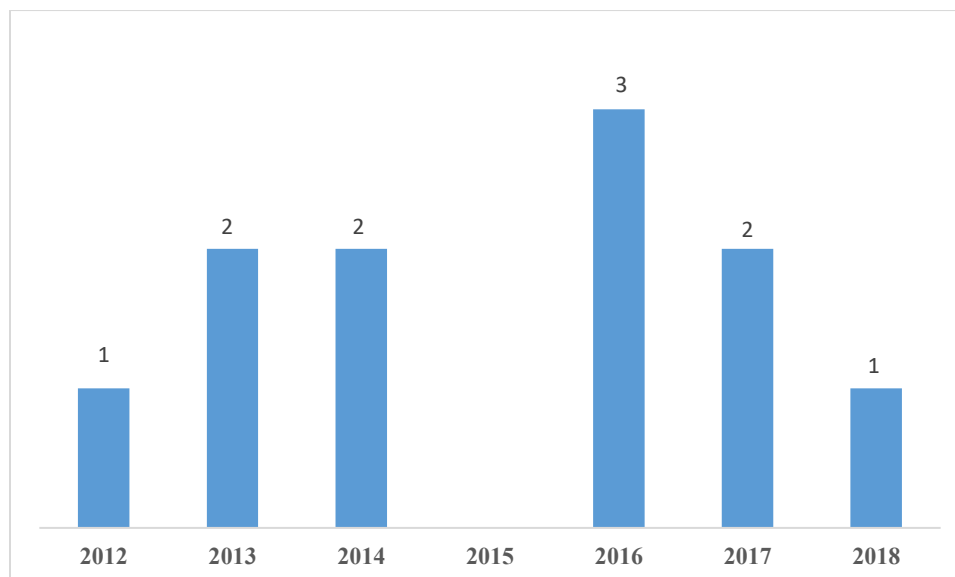


Gráfico 5 – Quantidade de publicações por ano da base final
Fonte: O Autor (2018).

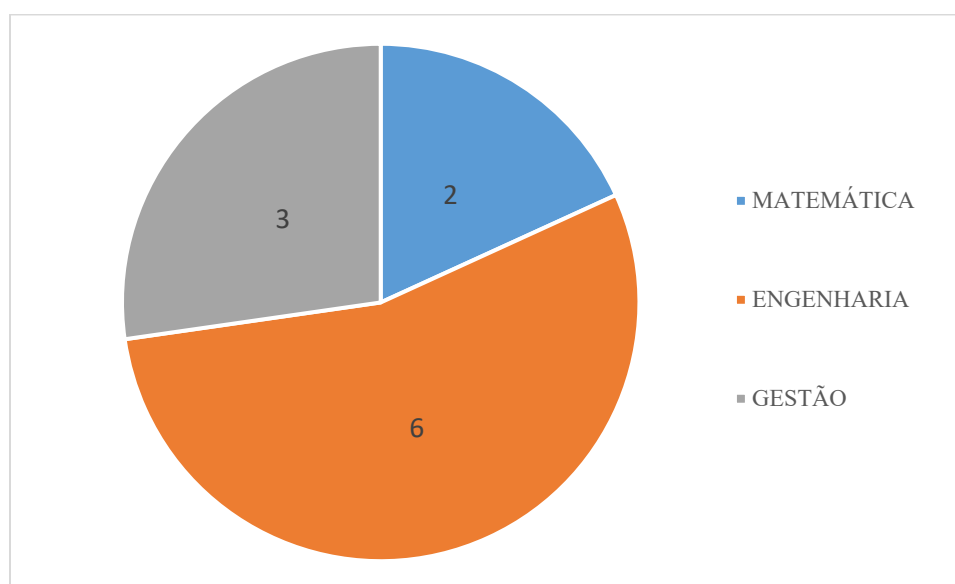


Gráfico 6 – Publicações por área de pesquisa da base final
Fonte: O Autor (2018).

Para possibilitar uma melhor compreensão deste trabalho, formulou-se o Quadro 5 que apresenta em síntese os dados coletados em relação às técnicas de análise multivariada em cada uma das fases do DMAIC, incluindo breve resumo de como e por que as técnicas foram utilizadas e qual o resultado de sua aplicação como produto final da pesquisa.

Quadro 5 - Técnicas de análise multivariada nas etapas do DMAIC

Publicação	Resumo	Define	Measure	Analyse	Improve	Control
<i>Improving oil classification quality from oil spill fingerprint beyond six sigma approach</i>	Este estudo envolve o uso de engenharia de qualidade na classificação de derramamento de óleo com base na impressão digital de derramamento de óleo de GC-FID e GC-MS empregando a abordagem Seis Sigma. Os derrames de petróleo são recuperados de várias áreas de água da Malásia Oriental e com a metodologia aplicada se encontrou a solução de problemas na classificação de óleo extraída de tais misturas.		-		Análise de <i>Cluster</i> foi usada para agrupar em quatro grupos principais os tipos de óleo com base nas semelhanças químicas intrínsecas. A classificação das amostras de derramamento de óleo foi confirmada por análise discriminante. Os <i>clusters</i> de derramamento de óleo foram tratados como as variáveis dependentes e as amostras medidas de derramamento de as variáveis independentes. O resultado foram quatro funções discriminantes que revelam que o composto de derramamento de óleo pode ser agrupado em quatro tipos: Diesel, HFO, MOLFO e WO. A PCA foi aplicada como método de redução de dados para a mistura complexa de óleos e fornece melhor interpretação dos dados da discriminação mais significativa variáveis	-

Quadro 5 - Continuação...

Publicação	Resumo	Define	Measure	Analyse	Improve	Control
<i>Statistical Process Control for Monitoring Nonlinear Profiles: A Six Sigma Project on Curing Process</i>	A duração da cura e a temperatura alvo são os mais críticos parâmetros de processo para produtos de mangueira de alta pressão. Num estudo de caso em uma produção real processo de cura é completamente investigado por meio do DMAIC e é mostrado que novas descobertas podem resultar em economia significativa de energia	-	-	Neste estudo, 153 perfis de temperatura do ar são examinados para buscar oportunidades para melhoria. Cada perfil é dividido em dois segmentos. O primeiro segmento visa para o monitoramento do aquecimento e duração da cura e o segundo segmento é para o monitoramento de o estágio de esfriamento. No primeiro segmento, existem duas características de qualidade de interesse. Ambos têm a mesma unidade; isto é, duração de tempo. O segundo segmento de um ciclo contém quatro características de qualidade juros, que estão relacionados com os desvios médios de seus perfis nominais não lineares. Foi, então, aplicado o gráfico de controle multivariado para explorar o primeiro segmento e segundo segmento em todos os perfis, respectivamente.	-	-
<i>Examination Result Analysis Using Six Sigma – A Case Study</i>	Aplicação do DMAIC na avaliação acadêmica e medidas de desempenho de um grupo de estudantes em uma universidade com objetivo de identificar as causas que levam ao declínio acadêmico.	-	-	Análise de regressão múltipla utilizando desempenho acadêmico como variável dependente e dois preditores como variáveis independentes. O modelo explicou a variação de 82,7 por cento da variação total observada no experimento tendo o fator F nível 0.000, o que significa os resultados dos modelos de regressão dificilmente poderiam ocorrer por acaso. Análise de <i>cluster</i> foi usada para classificar os grupos sem que antes houvesse informações prévias para qualquer dos objetos. Seu resultado demonstrou, por exemplo, que os alunos do segundo <i>cluster</i> são mais brilhantes se comparado aos alunos do primeiro, terceiro e quarto.	-	-

Quadro 5 - Continuação...

Publicação	Resumo	Define	Measure	Analyse	Improve	Control
<i>Internationalization of higher education institutions: implementation of DMAIC cycle</i>	Este estudo propôs um quadro para o ensino superior no Paquistão. A fim de energizar todo o processo de internacionalização, com base no DMAIC.	-	A análise fatorial foi utilizada para as dimensões de mensuração para a internacionalização da educação superior e cada uma das dimensões possui alguma medida de melhoria.	-	-	-
<i>Framework-based on SQC and DMAIC to monitor die casting process parameters</i>	O objetivo do estudo é reduzir a variação do processo e melhorar a qualidade do produto com base no DMAIC, usando outras ferramentas de controle de qualidade.	-	-	-	-	A técnica de PCA foi desenvolvida como estratégia de monitoramento. Dados referentes às condições normais de operação foram coletados e um total de sete foram identificadas e 30 medidas referentes às variáveis identificadas foram coletadas. T2 <i>Hotelling</i> (Gráfico de controle multivariado) para variáveis correlacionadas que ficariam distorcidas se consideradas individualmente
<i>Reduction of paint line defects in shock absorber through Six Sigma DMAIC phases</i>	Este estudo de caso foca na redução/eliminação de duas respostas imperativas no processo de pintura por spray, produzindo amortecedores: descascar e bolhas, usando a abordagem DMAIC que altamente impacta na qualidade no final para o cliente.	-	-	-	Regressão multivariada e ANOVA (Análise de variância) que identifica a condição de ótimo em descolamento e bolhas no processo de pré-tratamento.	-

Quadro 5 - Continuação...

Publicação	Resumo	Define	Measure	Analyse	Improve	Control
<i>Lean Six Sigma approach in an Indian auto ancillary conglomerate: a case study</i>	O objetivo deste artigo é ilustrar como a metodologia <i>Lean Six Sigma</i> (LSS) foi aplicada a um conglomerado auxiliar automático na Índia para obter excelência operacional.	-	-	Análise de Regressão Múltipla: como todas as variáveis (peças) são contínuas (dimensões de eixo, palete, etc) e há dependências quase lineares entre os regressores, o problema da multicolinearidade é dito existir e é preciso realizar a análise de regressão múltipla	-	-
MDMAIC UM ROADMAP SEIS SIGMA MULTIVARIADO	Objetivo é mostrar o processo de soldagem de revestimento de uma camada de aço inoxidável sobre superfícies de aços carbono ou aços de baixa liga com o objetivo de obter revestimentos com propriedades de anti-corrosão. Visto que os preços dos aços inoxidáveis são aproximadamente dez vezes maiores que os preços dos aços carbono, a principal vantagem deste processo está relacionada ao fato de que camadas anticorrosivas podem ser produzidas de forma mais barata.	-	-	-	Executa-se PCA individuais para cada grupo especificado. Cada grupo será representado por um vetor ponderado de escores de componentes principais por seus respectivos autovalores. A modelagem do processo multivariado será realizada para cada grupo de variáveis através de seus vetores de escores ponderados de componentes principais.	-
<i>Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study</i>	Neste estudo de caso, a metodologia DMAIC foi aplicada para identificar as prováveis fontes de desvio superfície usinada. Com a aplicação foi possível reduzir com sucesso o retrabalho para 2,20% de um inicial de 16% ao mês.	-	-	Análise de Regressão Múltipla: Uma vez que os principais insumos foram obtidos do FTA, houve a necessidade de verificar a confiabilidade de todas as leituras tomadas pelos operadores e posteriormente descobrir como os principais insumos estão relacionados por meio da regressão múltipla	-	-

Quadro 5 - Continuação...

Publicação	Resumo	Define	Measure	Analyse	Improve	Control
<i>A DMAIC-based methodology for improving urban traffic quality with application for city of Montreal</i>	Proposta da metodologia DMAIC para melhorar a qualidade do tráfego urbano em três etapas: 1 - coleta de dados de congestionamento de tráfego na cidade. 2 - DMAIC aplicado para analisar os dados coletados na Etapa 1. 3 - recomendações para reduzir o congestionamento de tráfego e melhorar a qualidade do serviço de transporte em Montreal.	-	-	Análise Fatorial Multivariada para analisar a relação entre fatores de congestionamento de tráfego (Xs) e nível de congestionamento ponderado (Y) resultando que a interação entre Construção de Estradas e Gestão de Estradas é o fator mais significativo na influência congestionamento de trânsito (Y).	-	T2 <i>Hotelling</i> (Gráfico de controle multivariado) para variáveis correlacionadas como por exemplo, Tempo de Condução, Distância de Condução ou Tempo de Espera que ficariam distorcidas de consideradas individualmente.
<i>Applying Six Sigma in urban public transportation to reduce traffic accidents involving municipality buses</i>	Estudo de caso em que a metodologia <i>Six Sigma</i> DMAIC foi implementada no setor de transporte público com objetivo de reduzir os acidentes de trânsito. A aplicação do DMAIC e Seis Sigma foram usados para identificar áreas de melhorias especificando linhas/rotas de ônibus e também na determinação dos fatores que aumentam o risco em geral. A aplicação resultou em uma melhoria de 20% dos ganhos obtidos.	-	-	Após a análise dos motoristas de ônibus, linhas, rotas, tipos de barramento, uma análise de regressão logística foi realizada para determinar os grupos de maior risco em termos de acidentes que causaram ferimentos ou morte e o custo de acidentes para a instituição.	-	-

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de revisão sistemática da literatura mostra-se útil à comunidade científica e acadêmica, pois possibilita reunir e selecionar majoritariamente as publicações mais relevantes e impactantes para a intersecção entre as áreas de Engenharia da Qualidade e Gestão da Qualidade, por meio de uma análise sistemática, lógica e criteriosa.

Ao aplicar este método de pesquisa pode-se concluir que houve um aumento significativo no número de trabalhos científicos que relacionam estas duas áreas em questão nos últimos 6 anos. No entanto, identifica-se que ainda há um pequeno número de pesquisas abrangendo este tema. A revisão bibliográfica inicial contava com 136 artigos, os quais foram reduzidos a apenas 11 que abordam a aproximação das áreas de Engenharia da Qualidade e Gestão da Qualidade de maneira específica. Diante disto, vislumbra-se uma grande oportunidade de pesquisa na unificação da área da qualidade.

A contribuição majoritária do presente trabalho direciona-se à comunidade científica e aos pesquisadores que buscam unir a Engenharia da Qualidade e Gestão da Qualidade, pois em geral a distância entre estas duas áreas ainda é bastante considerável. A aplicação de métodos multivariados – voltados à engenharia da qualidade - dentro do DMAIC (ferramenta da gestão da qualidade) possibilita uma interação positiva entre a gestão e a engenharia da qualidade, além de fornecer uma visão geral dos métodos multivariados e suas possibilidades práticas de utilização.

REFERÊNCIAS

- Chang, S. I., Tsai, T. R., Lin, D. K. J., Chou, S. H., Lin, Y. S. (2012). Statistical Process Control for Monitoring Nonlinear Profiles: A Six Sigma Project on Curing Process. *Quality Engineering*, 24(2), 251-263. <https://dx.doi.org/10.1080/08982112.2012.641149>
- Costa, Antônio Fernando Branco, Machado, Marcela Aparecida Guerreiro, & Claro, Fernando Antônio Elias. (2010). Gráfico de controle MCMAX para o monitoramento simultâneo do vetor de médias e da matriz de covariâncias. *Gestão & Produção*, 17(1), 149-156. <https://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2010000100012>.
- Dambhare, S., Aphale, S., Kakade, K., Thote, T., Borade, A. (2013). Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study. *International Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2013, 1-13. <https://dx.doi.org/10.1155/2013/752164>

Gijo, E.V.; Palod, R.; Antony, J. (2018). Lean Six Sigma approach in an Indian auto ancillary conglomerate: a case study. *Production Planning and Control*, 29(9), 761-772. <https://dx.doi.org/10.1080/09537287.2018.1469801>.

Gil, A. C (2008). Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas.

Hair, J.F., Jr, Anderson, R.E.; Tatham, R.L; Black, W.C. (2014). Multivariate Data Analysis (7a ed.). Ed. Pearson.

Hyotyniemi, H. (2001). Multivariate Regression: Techniques and tools. Helsinki University of Technology, Helsinki.

Juahir, H., Marine Pollution Bulletin (2017). Improving oil classification quality from oil spill fingerprint beyond six sigma approach. *Marine Pollution Bulletin*, 120(1-2), 322-332. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.032>.

Kendall, M. (1980). Multivariate analysis. High Wycombe, Charles Griffin (pp. 209). London.

Kumar, S., (1999). Application of Multivariate Analysis Techniques in Understanding Complex Industrial Process: a pulp mill example. University of Washington, Washington.

Kuvvetli, Ü.; Firuzan, A.R. (2017). Applying Six Sigma in urban public transportation to reduce traffic accidents involving municipality buses. *Total Quality Management and Business Excellence*, 1-26. <https://dx.doi.org/10.1080/14783363.2017.1297198>.

Lopes, J. C. C. (2014). Gestão da qualidade: decisão ou constrangimento estratégico (Dissertação de mestrado). Laloreate International Universities, Universidade Europeia, Lisboa.

Marzagão, D., Lopes, A., Gouvêa, M., & Carvalho, M. (2014). Fatores críticos de sucesso na implementação do programa seis sigma: uma revisão sistemática das pesquisas quantitativas. *Revista Produção Online*, 14(2), 465-498. doi:<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v14i2.1348>.

Morison, D. F. (1976). Multivariate Statistical Methods (2a ed). New York: McGraw-Hill.

Navas, R. K. B.. Akash, R. P., Sathish, G., Azharudeen, J. M. (2016). Six Sigma in education: examination result analysis using six sigma – a case of study. *2016 IEEE 4th International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*. <https://doi.org/10.1109/MITE.2016.056>.

Nsofor, G. C. (2006). A Comparative Analysis Of Predictive Data-Mining Techniques. The University of Tennessee, Knoxville.

Peruchi, Rogério Santana (2014). MDMAIC um roadmap seis sigma multivariado. *Universidade Federal de Itajubá*, Itajubá.

Pohlmann, Paulo Mazieiro; Ferreira, Marco Antônio (2014). Seis Sigma: dificuldades, limitações, fatores críticos de sucesso e perspectivas futuras. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, 10(4), 85-99. doi: <https://doi.org/10.15675/gepros.v10i4.1244>.

Sharm, R. G., Das, A., Suman, S. (2016). Framework-based on SQC and DMAIC to monitor die casting process parameters. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 23(2), 204-222. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2016.076401>.

Srinivasan, K., Muthu, S., Prasad, N. K., Satheesh, G. (2014). Reduction of paint line defects in shock absorber through Six Sigma DMAIC phases. *Procedia Engineering*, 97, 1755-1764. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.327>

Qureshi, M.I., Janjua, S.Y., Zaman, K. et al. (2014). Internationalization of higher education institutions: implementation of DMAIC cycle. *Scientometrics*, 98(3), 2295–2310. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1163-9>.

Stevens, J. P. (2002). Applied multivariate statistics for the social sciences. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Sokovic, D. P. (2010). Quality improvement methodologies—PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43(1), 476–483.

Sushovan Ghosh & J. Maiti (2014) Data mining driven DMAIC framework for improving foundry quality – a case study, *Production Planning & Control*, 25:6, 478-493, <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.709642>

Werkema, C. (2012). Criando a cultura Lean Six Sigma. Rio de Janeiro: Elsevier.

Wuensch, K. L. (2017). An Introduction to Multivariate Statistic. East Carolina University, Greenville.

Zhong H. Z.; Awasthi A. (2016). A DMAIC-based methodology for improving urban traffic quality with application for city of Montreal. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 10(1), 24-48. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2016.080449>.

Zientek, L. R., & Thompson, B. (2009). Matrix summaries improve research reports: Secondary analyses using published literature. *Educational Researcher*, 38, 343-352.