

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

PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE PRINCÍPIOS DO SEIS SIGMA
APLICADOS EM EMPRESAS CONSTRUTORAS

LUCIO SCHIAVON YAMAMOTO

SÃO CARLOS

2021

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

PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE PRINCÍPIOS DO SEIS SIGMA
APLICADOS EM EMPRESAS CONSTRUTORAS

Lucio Schiavon Yamamoto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sheyla Mara Baptista Serra

São Carlos

2021

Schiavon Yamamoto, Lucio
Processo de avaliação de princípios do Seis Sigma
aplicados em empresas construtoras / Lucio
Schiavon Yamamoto -- 2021.
187f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
São Carlos, campus São Carlos, São Carlos
Orientador (a): Sheyla Mara Baptista Serra
Banca Examinadora: Sheyla Mara Baptista Serra,
José da Costa Marques Neto, Flávio Augusto Picchi
Bibliografia

1. Construção Civil. 2. Gestão da Qualidade. 3.
Melhoria Contínua. I. Schiavon Yamamoto, Lucio.
II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de
Informática(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Lucio Schiavon Yamamoto, realizada em 22/01/2021.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra (UFSCar)

Prof. Dr. Jose da Costa Marques Neto (UFSCar)

Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi (UNICAMP)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Às minhas famílias de sangue, alma e coração.

AGRADECIMENTOS

À Thaina Barbosa Queiroga pela paciência durante esses anos intensos e, principalmente, pelas palavras, amor e gestos de carinho incessantes, que tanto me deram base para nossa caminhada de braços unidos.

Aos meus pais e familiares pelo suporte financeiro quando necessário e incentivo aos estudos desde minha infância.

Aos meus amigos, que considero como irmãos de vida, pelas risadas, ombros e abraços que permitem uma vida leve e feliz.

À Professora Sheyla Serra pela oportunidade, confiança e parceria construídas nessa trajetória.

Às empresas que colaboraram de bom grado com o andamento da pesquisa aqui apresentada.

Aos pesquisadores e professores que tanto se dedicam e colaboram para o futuro da sociedade, ato importante e belo em uma época marcada pelo negacionismo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 pelo apoio recebido.

À Universidade Federal de São Carlos, instituição pública, gratuita e de qualidade a qual me acolheu de todas as maneiras e que, com certeza, deixará uma saudade imensa no meu peito. Que seus dias sejam de ainda mais glórias.

A Deus por ser.

“Quando a educação não é libertadora, o sonho do oprimido é ser o opressor.”
– **Paulo Freire**

“Para mim bastaria estar certo de que você e eu existimos nesse momento.” –
Gabriel García Márquez

YAMAMOTO, L. S. **Processo de avaliação de princípios do Seis Sigma aplicados em empresas construtoras**. 2020. 187 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2021.

Resumo

Ainda que o setor da construção civil tenha adotado ferramentas e métodos gerenciais da produção e do controle da qualidade de obras, ainda há uma lacuna na aplicação do gerenciamento da qualidade efetivo. Os problemas ocorrem não apenas no controle das documentações, mas também no controle dos processos, produtos e, por fim, na melhoria contínua desses. O objetivo desta pesquisa é propor uma estrutura de avaliação de aplicação do Seis Sigma por meio de um questionário estruturado para empresas construtoras. O questionário foi desenvolvido a partir de uma revisão sistemática da literatura na qual foram elencados seis princípios do Seis Sigma mais utilizados na construção civil internacionalmente. Em seguida, foram realizados estudos de caso em canteiros de obra e a aplicação do questionário em dez empresas construtoras visando identificar os pontos fortes e fracos de cada uma delas. As informações foram levantadas junto aos envolvidos do corpo técnico com a construção da obra e com o gerenciamento da qualidade. Os resultados demonstraram que as empresas contatadas, em média, possuem o domínio do princípio “foco nos clientes finais”, entretanto ainda apresentam certa dificuldade na aplicação de ferramentas da gestão da qualidade. Além disso, constatou-se que características como a aplicação de auditorias, o porte da empresa, a existência de departamento da qualidade e a existência de certificações da qualidade possuem influência na pontuação dos princípios do Seis Sigma. Conclui-se, portanto, conforme amostra, que a indústria da construção civil necessita desenvolver mecanismos para promover a gestão da melhoria contínua, tendo como norteador a implantação e manutenção de métodos e controles da qualidade. Observou-se que para uma efetiva gestão da melhoria contínua, as empresas construtoras devem atingir antes um nível de controle de qualidade total.

Palavras-chave: *Qualidade, construção civil, Seis Sigma, melhoria contínua, construtoras.*

YAMAMOTO, L. S. **The evaluation process of the Six Sigma principles applied in construction companies.** 2020. 187 p. Dissertation (Graduate Program in Civil Engineering), Federal University of São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2021.

Abstract

Although the civil construction sector has adopted management tools and methods for the production and quality control of services, there is still a gap in applying effective quality management. The problems occur in the control of documentation and the control of processes, products, and continuous improvement. This research aims to propose an evaluation structure for Six Sigma application through a structured questionnaire or checklist for construction companies. The checklist was developed from a systematic review of the literature in which the six principles of Six Sigma are most used in civil construction internationally. Then, case studies were carried out on construction sites, and the checklist was applied to ten construction companies to identify each one's strengths and weaknesses. The research was realized with the technical staff of the building's site and quality management. The results showed that the companies contacted, on average, have mastered the principle of "focus on end customers," however they still have some difficulty in the application of quality management tools. Besides, it was found that characteristics such as the application of audits, the company's size, the existence of a quality department, and the existence of quality certifications influence the scoring of the Six Sigma principles. Therefore, according to the sample, it is concluded that the civil construction industry needs to develop mechanisms to promote the management of continuous improvement, having as a guideline the implementation and maintenance of methods and quality controls. It was observed that construction companies must first reach a total quality control level for effective continuous improvement management.

Keywords: *Quality, construction industry, Six Sigma, continuous improvement, construction companies.*

Lista de Ilustrações

Figura 1: Modelo de conversão tradicional.....	25
Figura 2: Conceitos da produção japonesa.....	27
Figura 3: Casa do Sistema Toyota de Produção (STP)	28
Figura 4: Modelo de processo da Construção Enxuta.....	29
Figura 5: Benefícios do PBQP-H.....	33
Figura 6: Ciclo PDCA e seus fases correspondentes.....	35
Figura 7: Correlação entre Defeitos por Milhão de Oportunidades e valor de sigma.....	41
Figura 8: Fases e questões do DMAIC	43
Figura 9: Estrutura de aplicação do Seis Sigma.....	44
Figura 10: Método DMADV	45
Figura 11: Estrutura hierárquica do Seis Sigma	48
Figura 12: Curva normal de análise de capacidade do processo.....	50
Figura 14: Fluxograma das etapas de pesquisa.....	76
Figura 15: Organização da equipe de gerenciamento da qualidade	81
Figura 16: Diferentes níveis de avaliação da qualidade da Empresa A	83
Figura 17: Organograma da Empresa B	84
Figura 18: Diferentes níveis de avaliação da qualidade da Empresa B	85
Figura 19: Avaliação médias dos princípios do Seis Sigma	102
Figura 20: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa A	108
Figura 21: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa B	109
Figura 22: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa C.....	110
Figura 23: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa D.....	111
Figura 24: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa E	112
Figura 25: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa F	113

Figura 26: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa G.....	114
Figura 27: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa H.....	115
Figura 28: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa I	116
Figura 29: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa J.....	117
Figura 30: Gráfico de correlação entre o tempo de experiência dos profissionais e média total final das avaliações individuais.....	121
Figura 31: <i>Bloxplot</i> ilustrativo da diferença das médias de cada grupo referente ao tamanho das empresas.....	125
Figura 32: <i>Boxplot</i> dos grupos de áreas de atuação para identificação de <i>outliers</i>	126
Figura 33: Método SSF	153
Figura 34: Método de filtragem dos documentos	155
Figura 35: Anos das publicações dos artigos.....	159
Figura 36: Quantidade de publicações em cada periódico.....	160
Figura 37: Avaliações dos periódicos.....	161
Figura 38: Número de citações pelo Scholar Google	162
Figura 38: Quantidade de palavras-chave mais recorrentes.....	163

Lista de Tabelas

Tabela 1: Defeitos por milhão e valores de sigma associados.....	40
Tabela 2: Caracterização dos avaliadores	99
Tabela 3: Caracterização das empresas.....	100
Tabela 4: Resumo das notas médias e individuais de cada princípio	102
Tabela 5: Avaliações gerais das notas de cada empresa avaliadora.....	118
Tabela 6: Correlação do tempo de experiência dos avaliadores com os resultados médios dos princípios.....	120
Tabela 7: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos de cargos ocupados.....	122
Tabela 8: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise de cargos.....	122
Tabela 9: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos do tamanho das empresas.....	123
Tabela 10: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise do tamanho das empresas	124
Tabela 11: Agrupamento e média dos fatores relacionados ao tamanho das empresas	124
Tabela 12: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos de áreas de atuação das empresas	126
Tabela 13: Resultado do teste de Tukey para análise da área de atuação das empresas	127
Tabela 14: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos referentes aos certificados de qualidade das empresas	128
Tabela 15: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise dos certificados de qualidade das empresas	128
Tabela 16: Agrupamento e média dos fatores relacionados às certificações ambientais.....	129

Tabela 17: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos referentes à realização de avaliações por auditorias	130
Tabela 18: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise da avaliação por meio de auditorias.....	130
Tabela 19: Agrupamento e média dos fatores relacionados às avaliações por auditoria	130
Tabela 20: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise da existência de departamento da qualidade.....	131
Tabela 21: Agrupamento e média dos fatores relacionados à existência de departamento da qualidade.....	131
Tabela 22: Maiores e menores notas de acordo com as características avaliadas das empresas.....	132
Tabela 23: Resumo das avaliações de importância de cada princípio e da melhoria contínua na construção civil	133
Tabela 24: Valores estatísticos dos princípios pela regressão linear	135
Tabela 25: Valores estatísticos dos princípios pela regressão linear ajustada	135
Tabela 26: Valores estatísticos dos princípios pela segunda regressão linear ajustada.....	135
Tabela 27: Avaliação estatística e confiabilidade do questionário.....	185

Lista de Quadros

Quadro 1: Diferença entre projetos enxutos e tradicionais.....	31
Quadro 2: Requisitos da aplicação da construção enxuta	32
Quadro 3: Definições dos fatores de sucesso do Seis Sigma	42
Quadro 4: Sistema Belt	47
Quadro 5: Parâmetros de comparação entre visão enxuta e Seis Sigma	52
Quadro 6: Pesquisas na construção civil com aplicação do Seis Sigma.....	65
Quadro 7: Princípios do Seis Sigma na construção civil destacados nos artigos da RSL	67
Quadro 8: Comparação dos princípios do Seis Sigma.....	70
Quadro 9: Atividade e abordagens de pesquisa.....	76
Quadro 10: Características das empresas avaliadoras do estudo piloto.....	80
Quadro 11: Exemplo do uso da escala no questionário	90
Quadro 12: Cargos dos avaliadores das empresas	98
Quadro 13: Caracterização das empresas.....	105
Quadro 14: Caracterização e nota das empresas.....	105
Quadro 15: Oportunidades de aplicação dos princípios e ganhos esperados	137
Quadro 16: Estruturação do método <i>Systematic Search Flow</i> (SSF).....	152
Quadro 17: Pesquisas nas bases de dados indicadas.....	154
Quadro 18: Dados dos artigos selecionados para leitura.....	156
Quadro 19: Artigos provenientes da referência cruzada	158
Quadro 20: Questionário de aplicação dos princípios do Seis Sigma	167

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANOVA – Análise de Variância
CEP – Comitê de Ética em Pesquisa
COPQ – *Cost of Poor Quality*
Cpk – Índice de Capacidade do Processo
DMADV – *Define, Measure, Analyse, Design, Verify*
DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*
DPMO – Defeitos por Milhão de Oportunidades
FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*
FVS – Ficha de Verificação de Serviços
ISO – *International Organization for Standardization*
JIT – *Just in Time*
LSS – *Lean Six Sigma*
MC – Melhoria Contínua
PBQP-H - Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat
PDCA – *Plan, Do, Check, Act*
PES – Procedimento de Execução de Serviço
PIS – Planilha de Inspeção de Serviços
PPGECiv – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PPM – Partes por Milhão
ProPq – Pro Reitoria de Pesquisa
RSL – Revisão Sistemática da Literatura
SiAC - Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras
SSF – *Systematic Search Flow*
STP – Sistema Toyota de Produção
TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TQM – *Total Quality Management*
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

Sumário

Resumo.....	8
Abstract	9
Lista de Ilustrações	10
Lista de Tabelas.....	12
Lista de Quadros	14
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	15
1. Introdução.....	19
1.1 Justificativa.....	21
1.2 Objetivos	23
1.3 Estrutura da dissertação	24
2. Revisão Bibliográfica	25
2.1 Cronologia do gerenciamento na construção civil	25
2.1.1 Modelo tradicional de gerenciamento ou modelo de conversão 25	
2.1.2 Produção Enxuta	26
2.1.3 Construção enxuta	29
2.1.4 Qualidade na construção civil.....	32
2.1.5 Melhoria contínua na construção civil	37
2.2 Seis Sigma	39
2.2.1 Definições e aplicações.....	39
2.2.2 Estrutura hierárquica	46
2.2.3 Métrica e indicadores estatísticos	48
2.3 <i>Lean Six Sigma</i>	51
2.3.1 Definições e aplicações.....	51

2.4	<i>Pesquisas de medição da aplicação do Seis Sigma em diferentes indústrias</i>	53
2.5	<i>Seis Sigma na Construção Civil</i>	57
2.5.1	Análise crítica dos resultados apresentados na literatura ...	65
2.5.2	Estrutura de comparação do seis sigma para a indústria da construção	69
3.	<i>Método de pesquisa</i>	74
3.1	Tipo, natureza e objeto de estudo	74
3.2	Etapas de estudos da pesquisa	75
3.2.1	Etapa A – Nivelamento conceitual	77
3.2.2	Etapa B – Confecção do método de coleta de dados	77
3.2.3	Etapa C – Estudos de caso	90
3.2.4	Etapa D – Conclusões e comparações	92
4.	<i>Resultados e discussões</i>	98
4.1	Resultados	98
4.1.1	Caracterização dos profissionais e empresas	98
4.1.2	Resultados gerais	101
4.1.3	Comparações entre empresas	103
4.1.4	Correlação entre itens da caracterização e notas dos avaliadores	120
4.1.5	Correlação entre itens da caracterização e notas dos avaliadores representando as empresas	123
4.1.6	Identificação da importância dos princípios do Seis Sigma por meio de avaliação empírica	133
4.2	Proposta geral para implantação sistêmica do Seis Sigma em empresas construtoras	137
5.	<i>Conclusões</i>	140

<i>Referências Bibliográficas</i>	145
<i>Apêndice A – Revisão Sistemática da Literatura (RSL)</i>	152
<i>Apêndice B – Perguntas abertas do questionário piloto</i>	164
<i>Apêndice C – Questionário de aplicação da melhoria contínua na construção civil por meio dos princípios do Seis Sigma</i>	165
<i>Apêndice D – Respostas dos participantes</i>	174
<i>Apêndice E – Análises estatísticas e avaliação do Alfa de Cronbach das questões</i>	185
<i>Apêndice F – Parecer final de aprovação da pesquisa junto ao CEP-UFSCar</i>	187

1. Introdução

A indústria da construção tem sido criticada durante anos devido a sua ineficiência em seus processos e projetos, desperdícios demasiados, altos riscos para baixa lucratividade dos produtos e serviços, além de ser configurada como um exemplo negativo de tais aspectos quando comparada a indústrias com bases mais sólidas no gerenciamento de projetos e processos (TEZEL; KOSKELA; AZIZ, 2018).

A construção civil ainda se encontra em fase de definição das técnicas gerenciais mais adequadas ao seu uso, em comparação com o setor da indústria de manufatura e a indústria seriada que seguem métodos específicos (ALVES; MILBERG; WALSH, 2012). Se por um lado o avanço dos estudos e implantação da Construção Enxuta (*Lean Construction*) apresentou diversas melhorias nos fluxos físicos, financeiros e de informação em algumas empresas da construção civil, ainda é muito recente a aplicação de técnicas e ferramentas que busquem a medição no desempenho organizacional para o desenvolvimento da qualidade dos produtos da indústria da construção.

A qualidade na construção civil, principalmente no Brasil, apresentou melhorias a partir da aplicação dos requisitos para o alcance das normas certificadoras normalmente aplicadas pelas empresas construtoras: ISO 9001 da *International Organization for Standardization* (ISO) e SiAC (Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil) do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H). Sendo assim, o conceito principal de qualidade, que é atender e respeitar os requisitos do cliente, em alguns casos deixa de ser o principal objetivo e acaba sendo encoberto pela busca ao atendimento de tais normativas e certificações, que, se aplicadas por razões burocráticas, podem engessar a busca pela melhoria incremental.

A fim de evoluir no tema que tange à qualidade, a literatura realizou uma busca para compreender e aplicar ferramentas e métodos provenientes do *TQM*

(do inglês: *Total Quality Management*, em português: Gestão Total da Qualidade) com a aplicação de ciclos metodológicos de resolução de problemas. Com isso, algumas pesquisas começaram a visualizar os problemas como oportunidades de melhoria e, conseqüentemente, iniciaram, ainda que de maneira rasa e inicial, a busca pelo desenvolvimento constante. A do ciclo PDCA (*Plan Do Check Act*) aplicação em algumas pesquisas dentro da engenharia civil reflete bem essa realidade (CUNHA; ABREU, 2019).

A implantação do conjunto de práticas conhecido como Seis Sigma (6σ ou *Six Sigma*) proporciona a melhoria na área gerencial tanto por meio da aplicação de seu método cíclico de análise de processos quanto no levantamento de dados estatísticos que buscam motivar a melhoria incremental física de determinada atividade (VAN DEN BOS; KEMPER; DE WAAL, 2014). Esses autores ainda indicam que é possível reduzir a taxa de não conformidades, sendo que um defeito na construção civil é definido como algo que não está de acordo com as especificações do cliente, o que contrasta com o que é entendido na indústria de manufatura, na qual defeitos são produtos que não atingiram as especificações necessárias.

A diminuição da variabilidade, que é um dos grandes e fundamentais pilares do Seis Sigma também funciona como incentivo à melhoria constante de todos os processos, visto que em uma análise global, a perfeição é buscada com o alcance das especificações desejadas em processos diretamente ou indiretamente ligados com o produto (MARZAGÃO; CARVALHO, 2016). Para que isso aconteça, é necessário que os princípios do método estudado sejam aplicados e desenvolvidos, visando a sustentabilidade da mentalidade de melhoria e desenvolvimento incremental.

Sendo assim, a pesquisa apresentada tem como objetivo de estudo a proposição de um processo de avaliação do grau de aplicação dos princípios do Seis Sigma em empresas construtoras com as devidas ponderações e adaptações para a realidade da construção civil. O trabalho não tem por objetivo medir a maturidade dos modelos de Seis Sigma aplicado, mas sim compreender a possibilidade ou nível de aplicação de atividades de melhoria contínua por meio

dos princípios do Seis Sigma, visto que poucas são as empresas construtoras que efetivamente aplicam programas como o modelo proposto.

1.1 JUSTIFICATIVA

A qualidade na construção civil avançou em proporções significativas nas últimas três décadas de estudos, principalmente em função da implementação de programas de gestão da qualidade com o objetivo final de financiamento estatal de obras como é o caso do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) (PEREIRA; MOURA, 2013). Além disso, a necessidade de apresentar para os clientes a organização interna eficiente, diversas construtoras buscaram a certificação ISO 9001, (*International...*, 2008) conferindo o status de empresas que possuem gerência sobre qualidade de seus produtos por meio de um adequado mapeamento dos processos, análise qualitativa de erros e proposição de melhorias em um sistema padronizado.

Ainda assim, a indústria da construção civil apresenta diversas lacunas em relação à garantia e manutenção dos sistemas de análise da qualidade de seus produtos, sendo eles finais ou parciais em relação com os clientes, os quais também podem ser analisados como finais ou internos, gerando custos, sendo esses denominados de “Custos da Baixa Qualidade” (*Cost Of Poor Quality - COPQ*) (MAHMOOD et al., 2014). Além disso, o setor ainda apresenta grandes índices de entrega de produtos a seus clientes finais que não atendem aos requisitos deles, ferindo, portanto, o conceito fundamental de qualidade, como apontado por Dakhli, Lafha e Bos (2016).

A indústria da manufatura e seriada, historicamente, encontra-se em patamares mais avançados tanto em técnicas gerenciais de processos, como em técnicas gerenciais de qualidade (TEZEL; KOSKELA; AZIZ, 2018). Como constatado por diversos estudos, diversas ferramentas e métodos foram, ao longo do tempo, adaptados da indústria seriada para a da construção civil, gerando resultados satisfatórios na busca pela redução de desperdício, redução de tempo de execução e redução de atividades que não agregam valor.

Recentemente, o setor busca também a adaptação de técnicas e métodos que garantam a qualidade na execução de obras.

O Seis Sigma é um método que traz ferramentas gerenciais e estatísticas que possibilitam a análise e implementação de métodos que garantam a busca pela melhoria incremental em atividades produtivas (ULLAH et al., 2017). Sendo assim, a pesquisa aqui apresentada se torna extremamente relevante por estudar a proposição de um método cíclica fixa de análise de erros em processos e produtos, além de possibilitar a criação de uma métrica quantitativa que indica a qualidade da execução, por meio de dados estatísticos, com foco tanto na análise do tempo de execução como também na qualidade da mesma.

Poucos são as pesquisas sobre Seis Sigma que contemplam o estudo da qualidade e aplicação do método na construção civil, principalmente em canteiros de obra. Tal lacuna, principalmente relacionada a estudos brasileiros, permite avaliar as oportunidades de aplicação de novos modelos de gerenciamento da qualidade no gerenciamento de obras. Sendo assim, um dos principais motivadores da dissertação é compreender se a aplicação do Seis Sigma é possível de ser utilizada pelas empresas construtoras, visando avaliar se ainda que de maneira adaptada, os princípios fundamentais do Seis Sigma ocorrem ou são passíveis de serem aplicados no desenvolvimento gerencial de construções.

Por se tratar de um método consagrado que visa a diminuição de variabilidades por análises estatísticas, o Seis Sigma pode abranger as diversas atividades de execução de diversos tipos de obra visando estabelecer um procedimento padrão para a resolução de problemas. Além de compartilhar aspectos e características de gerenciamento da qualidade, o Seis Sigma pode estar mais voltado para a promoção da liderança e valorização e treinamento da mão de obra. Isso se torna extremamente benéfico, pois a construção civil é uma atividade econômica estratégica para o desenvolvimento nacional.

Além disso, é importante reforçar que o Seis Sigma é um método que pode ser aplicado a fim de desenvolver a melhoria em atividades e, portanto, focar no incremento dos processos e produtos específicos. No entanto, a abordagem proposta pela pesquisa tem como objetivo aplicar e estudar o método

como uma ênfase na melhoria das operações e ampliar o entendimento sobre o custo-benefício para as empresas. Sendo assim, o método busca avaliar e contribuir com a sustentabilidade do negócio das empresas e não apenas de produtos parciais, finais e/ou empreendimentos. Tal custo-benefício pode ser entendido como a diminuição da variabilidade dos processos e produtos das empresas, estabilizando, portanto, a produção e, conseqüentemente, o caixa das empresas construtoras. Desse modo, pode-se entender que os princípios do Seis Sigma auxiliarão na constante manutenção de pequenas e médias empresas, as quais sempre dependem de pequenas margens de lucro para seu desenvolvimento.

Desse modo, a melhoria constante de qualidade é um benefício que atinge não apenas as construtoras, mas também seus clientes e financiadores. As descobertas deste estudo do Seis Sigma na indústria da construção civil podem contribuir significativamente no aumento de valor agregado real nos empreendimentos construtivos como também no significativo avanço da construção mais sustentável e racional.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal da pesquisa é apresentar um processo de avaliação da aplicação de princípios do Seis Sigma em empresas construtoras atuantes em diversos segmentos econômicos.

Para que o objetivo principal seja alcançado, alguns objetivos específicos são elencados com a pretensão de serem atingidos ao longo da pesquisa:

- a) Elencar por meio de revisão sistemática da literatura os princípios do Seis Sigma e os princípios mais aplicados na indústria da construção civil;
- b) Medir e analisar a possibilidade de aplicação de princípios do Seis Sigma nas obras e empresas pesquisadas por meio do questionário desenvolvido;

- c) Propor um procedimento estatístico de avaliação dos resultados frente às caracterizações pessoais dos avaliadores e características das empresas que estão inseridos;
- d) Avaliar qual(is) princípio(s) elencado(s) tem sua importância mais atrelada à importância da aplicação da melhoria contínua na construção civil.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação apresentada está dividida em cinco capítulos, estando esse tópico no capítulo inicial que busca introduzir o tema estudado, os objetivos da pesquisa e sua correspondente justificativa.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica da pesquisa realizada, trazendo tópicos pertinentes ao contexto geral da aplicação do método do Seis Sigma em diversas indústrias e finalizando com os dados encontrados por meio da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que pesquisa e avalia sobre o assunto mais específico (Seis Sigma na construção civil).

O terceiro capítulo indica o método de pesquisa, apresentando as etapas que foram cumpridas para o desenvolvimento da pesquisa e obtenção dos resultados. Cabe informar que tal capítulo é posterior à fundamentação teórica, visto que há a necessidade de ser apresentado alguns conceitos pertencentes à teoria previamente à apresentação do método.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões encontrados por meio dos estudos de casos realizados nas obras.

O quinto capítulo traz as conclusões, indicando caminhos futuros para a linha de estudos, além da apresentação das limitações dessa pesquisa.

Por fim, os procedimentos de desenvolvimento da RSL estão inteiramente apresentados nos apêndices deste documento, além da estruturação do questionário proposto e os resultados obtidos junto às empresas.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 CRONOLOGIA DO GERENCIAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

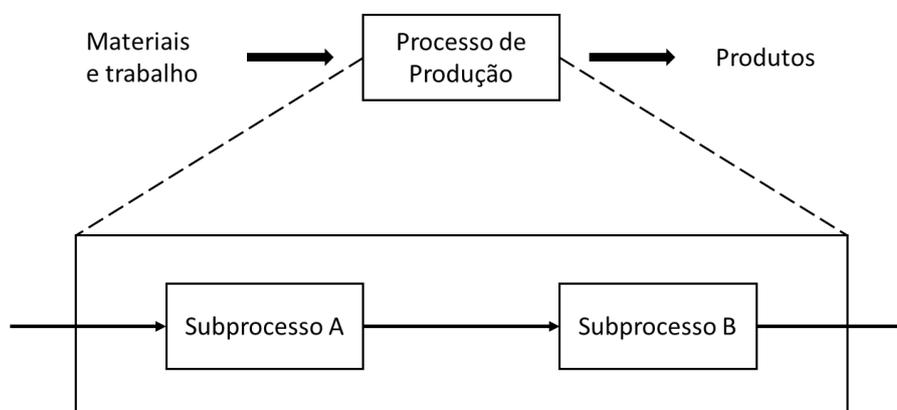
2.1.1 MODELO TRADICIONAL DE GERENCIAMENTO OU MODELO DE CONVERSÃO

A indústria tradicional sempre foi modelo para o desenvolvimento de estudos e técnicas no setor da construção civil, o qual absorve de maneira mais tardia os desenvolvimentos gerenciais de outros setores produtivos.

O modelo tradicional de gerenciamento define a produção da construção civil como um conjunto de atividades de conversão, transformando insumos em produtos intermediários ou até mesmo no produto final (KOSKELA; BOLVIKEN; ROOKE, 2013). O modelo de conversão apresenta algumas características marcantes como os processos de conversão que podem ser divididos em subprocessos, a análise do modelo de gastos de maneira parcial focada nos subprocessos e a intensa relação entre o custo do subprocesso com apenas o valor de seus insumos necessários (KOSKELA, 1992).

Como pode ser visto na Figura 1, o modelo de conversão analisa apenas as entradas e saídas dos sistemas e os devidos processos e subprocessos de produção que transformam insumos em produtos.

Figura 1: Modelo de conversão tradicional



Fonte: Adaptado de Koskela (1992)

Como é pontuado por Shingo (1998), pode-se observar que o processo de produção apresentado nada mais é que a conversão de entradas, as quais podem ser entendidas como os insumos necessários ao produto final, entendido com a saída do processo. As principais críticas do autor citado são provenientes de dois focos conceituais de desenvolvimento.

O primeiro *JIT (Just in Time)* indica que a não consideração das atividades de fluxo, as quais são consideradas como fluxo físico entre as atividades de conversão, pode ser classificada como um dos principais defeitos do modelo aqui apresentado. Tais atividades são identificadas principalmente por transporte, espera, inspeção e retrabalho e são as maiores responsáveis tanto pelo aumento de custos ao decorrer da execução dos empreendimentos (obras), quanto pela ineficiência produtiva dos sistemas.

O segundo foco de crítica identifica que os produtos finais das conversões usualmente apresentam variabilidades que impossibilitam atingir à especificação pré-determinada, gerando retrabalho. O conceito de qualidade, portanto, é primariamente desrespeitado, visto que os requisitos exigidos pelos clientes não são cumpridos. Tal conceito também vai ao encontro do tema central da pesquisa que é a redução de variabilidade de produtos ou serviços por meio da utilização do Seis Sigma, buscando o incremento da qualidade.

As deficiências constatadas no modelo tradicional de gerenciamento são originadas e/ou negativamente impulsionadas pela ausência clara de processos de gestão bem definidos e pela falta de projetos do processo. Sendo assim, entende-se que para que o grande número de falhas seja eliminado, deve-se considerar as atividades de fluxo de compõe a vida do sistema produtivo da edificação (VIVAN; PALIARI; NOVAES, 2010).

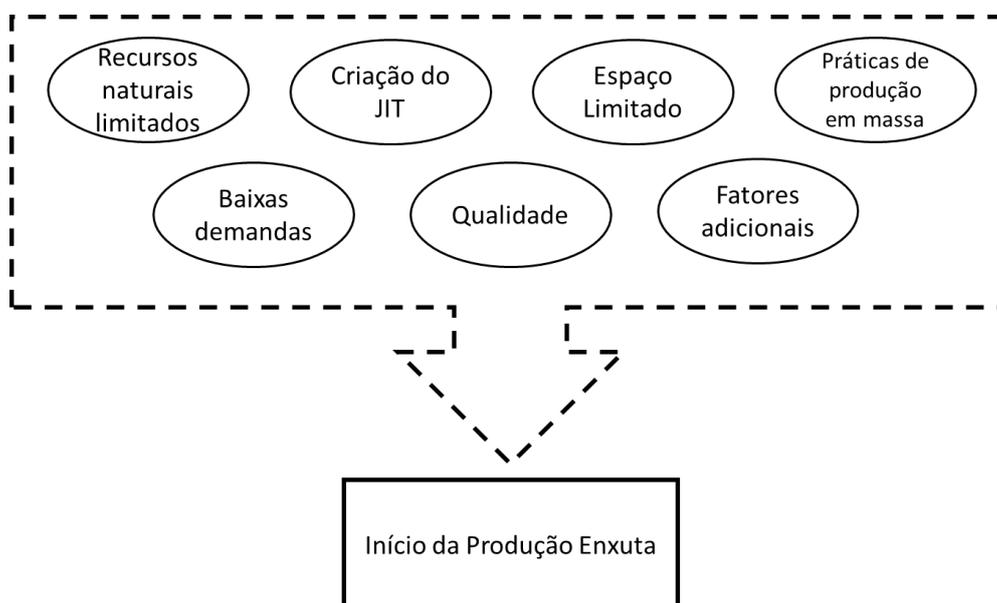
2.1.2 PRODUÇÃO ENXUTA

Após o término da Segunda Guerra Mundial, diversos países e empresas encontraram grandes dificuldades para reencontrar o crescimento econômico desejado. Desse modo, surge no Japão o pensamento enxuto (*Lean Thinking*) por meio de empresários e pesquisadores, como Taiichi Ohno e alguns parceiros, responsáveis pela implementação do Sistema Toyota de Produção

(STP), o qual buscava eliminar estoques de materiais e serviços, entre outros desperdícios por meio de pequenos lotes de produção (pequenas células de produção), tempos de configuração mais reduzidos, semi-automação dos processos e máquinas e maior diálogo com os seus fornecedores (DE FREITAS; COSTA; FERRAZ, 2017).

A Figura 2 apresenta alguns outros fatores que colaboraram em grande escala para o desenvolvimento do método de gestão japonesa. Por ser um país consideravelmente pequeno e com poucos recursos naturais, era essencial o desenvolvimento de técnicas que transformassem os processos produtivos em produções enxutas quanto ao aspecto da mão-de-obra, matéria prima e espaço.

Figura 2: Conceitos da produção japonesa

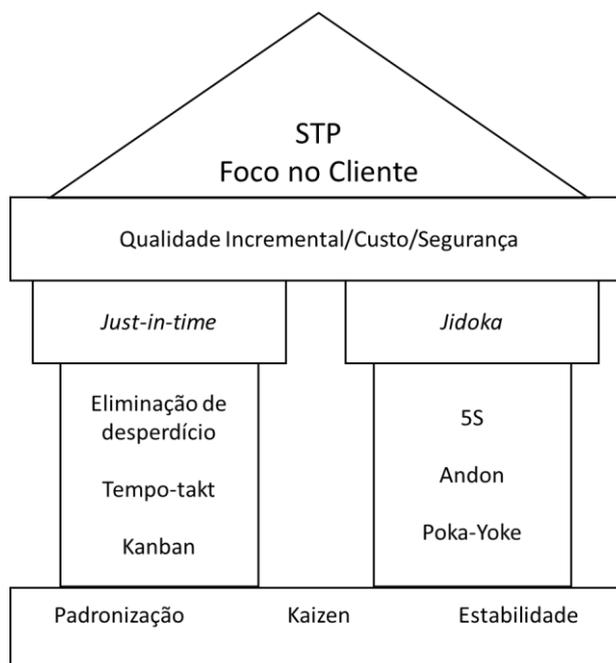


Fonte: Adaptado de Aziz e Hafez (2013)

O Sistema Toyota de Produção (STP) se torna, portanto, um dos modelos mais visados no mundo em relação à uma estrutura de gerenciamento produtivo, no qual colaboradores e processos são gerenciados em busca da melhoria da qualidade dos produtos de forma a incrementar continuamente os processos eliminando perdas desnecessárias de recursos materiais, humanos e administrativos.

A Figura 3 ilustra a relação e estrutura do sistema que buscou revolucionar os modelos de gerenciamento que é conhecido como a Casa STP.

Figura 3: Casa do Sistema Toyota de Produção (STP)



Fonte: Adaptado de Kurdve et al. (2014)

A casa descrita é apresentada como uma metáfora, na qual cada componente estrutural tem um sentido frente ao sistema de gestão, sendo constituída por uma base, dois pilares e uma cobertura. A base representa o processo estável que se deseja atingir a qual serve de alicerce para dois pilares, sendo eles o *Just-in-time* e o *Jidoka*. Por fim, a cobertura representa os objetivos que são visados: qualidade, custo e tempo de execução adequados, requisitos estes que estão focados sempre no cliente (KURDVE et al., 2014).

O *Jidoka* corresponde a um termo na língua japonesa que significa, em tradução livre, “automatização com um toque humano”. Seu principal objetivo é capacitar tanto máquinas quanto operadores de detectarem erros nos processos ou produtos, interrompendo imediatamente o trabalho, buscando a redução de desperdícios e melhorando a qualidade geral do serviço. A automatização na construção civil ainda é um tópico pouco avançado e, portanto, não pertinente nas análises e conclusões iniciais da construção enxuta (KURDVE et al., 2014).

O pensamento enxuto que posteriormente origina os princípios da construção enxuta proposta inicialmente por Koskela (1992) tem como base o *Just-in-time (JIT)* o qual é um sistema que a produção de determinado produto

só é realizada quando esse é realmente necessário. Tal produção é puxada pela demanda do processo que o antecede ou até mesmo pelo cliente final (PICCHI, 2003). A ideia principal da filosofia é reduzir ou eliminar os estoques, o que seria possível com a diminuição de células de produção, reconfiguração do layout das indústrias, maior comunicação com os fornecedores e redução do tempo de configuração dos processos (KOSKELA, 1992).

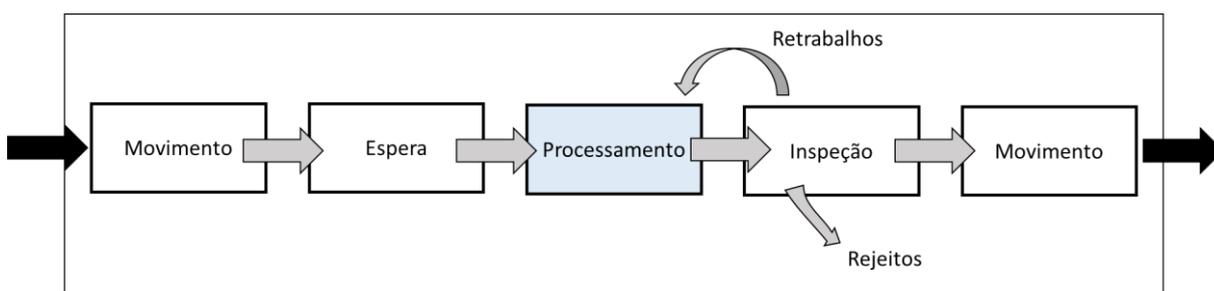
A Construção Enxuta, que será apresentada a seguir, é baseada, portanto, principalmente na Produção Enxuta, visto que a indústria de manufatura e/ou seriada apresenta considerável avanço frente ao desenvolvimento de técnicas gerenciais. Cabe reforçar que a filosofia da indústria tradicional sofreu certas adequações para atender aos requisitos e realidade presentes na indústria da construção civil.

2.1.3 CONSTRUÇÃO ENXUTA

Como descrito, com o decorrer dos anos e as crescentes demandas de melhoria no gerenciamento produtivo tanto nas indústrias de manufatura e seriadas, mas principalmente na indústria da construção civil, enxergou-se a necessidade de geração de uma filosofia com diretrizes bem definidas para a gestão de obras de maneira mais correta e padronizada, buscando um avanço na indústria como um todo e não apenas em obras pontuais.

Koskela (1992) foi o pioneiro ao apresentar uma proposta que posteriormente seria descrita como Construção Enxuta por adaptar diversas diretrizes provenientes do pensamento enxuto. O principal pensamento presente na proposição apresentada pelo autor corresponde ao modelo de processos que se difere do modelo de conversão tradicional e está ilustrado pela Figura 4.

Figura 4: Modelo de processo da Construção Enxuta



Fonte: Adaptado de Koskela (1992)

Segundo Koskela (1992), a produção é o deslocamento contínuo de um material e/ou informação que parte inicialmente de um insumo cru até se tornar um produto em si. Nesse deslocamento, o material é convertido, inspecionado, além de poder estar em movimento ou espera. Tais atividades descritas se diferem em grandes proporções devido ao seu aspecto de geração de valor. Enquanto o processamento representa a conversão de materiais em um produto final ou parcial, a inspeção, movimentação e espera representam os fluxos da linha de produção.

Para tal modelo de gerenciamento que possui o *JIT* como gerador de diretrizes, deve-se compreender e diferenciar de maneira clara as duas classificações de atividades presentes em sistemas produtivos e que, basicamente, geram parâmetros de compreensão e estudo para os empreendimentos enxutos:

- a) Atividades que agregam valor à obra: Atividades que convertem os materiais e/ou informações em algo requisitado pelo consumidor ou cliente (processamento);
- b) Atividades que não agregam valor à obra: Podem ser consideradas também como desperdício. São atividades que tomam tempo, recursos ou espaços físicos, porém não agregam valor ao produto final (fluxos) (KOSKELA, 1992).

Desse modo, Koskela (1992) fundamenta a construção enxuta em onze tópicos principais os quais devem ser profundamente estudados a fim de buscar o aprimoramento nos processos construtivos:

1. Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor;
2. Aumentar o valor do produto final através da consideração sistemática dos desejos do consumidor;
3. Reduzir a variabilidade;
4. Reduzir o tempo de ciclo;
5. Simplificar minimizando o número de passo, partes e conexões;
6. Aumentar a flexibilidade do produto final;
7. Aumentar a transparência do processo;
8. Controle de foco no processo completo;

9. Contínua melhoria no processo;
10. Melhoria balanceada nos fluxos com a melhoria nas conversões;
11. Benchmark.

A necessidade da entrega de edificações em intervalos de tempo cada vez menores devido à demanda do mercado levou a “execução a eclipsar a concepção (projeto)” (BALLARD; HOWELL, 2003). Com o objetivo de mudar a realidade de baixa racionalização, demasiados desperdícios e baixa produtividade, buscou-se o desenvolvimento de uma nova mentalidade de gerenciamento, a qual apresenta diferenças estruturais quando comparada com o modelo tradicional, como apontado pela Quadro 1:

Quadro 1: Diferença entre projetos enxutos e tradicionais

Lean	Tradicional
Foco no sistema de produção	Foco nas transações e contratos
Transformação, fluxo e valores	Objetivo de conversão
Decisões de níveis altos incluindo trabalhadores de níveis mais baixos	Decisões são realizadas sequencialmente por especialistas e demandas em sequência
Produto e processo desenvolvidos em conjunto	O projeto do processo é iniciado quando o projeto do produto se encerra
Todos os estágios do ciclo de vida são considerados no projeto	Nem todos os estágios do ciclo de vida são considerados no projeto
Atividades são desenvolvidas quando demandadas	As atividades são realizadas o mais cedo possível
Esforços sistemáticos são realizados para reduzir o tempo de entrega dos fornecedores	Organizações se conectam pelo mercado e absorvem o que é oferecido
Aprendizado é incorporado no projeto, empresa e gestão de fornecedores	Aprendizado ocorre esporadicamente
Os interesses de todos os atores são alinhados	Os interesses dos atores não estão alinhados
Tempos extras são dimensionados e alocados para absorver as variações do sistema	Tempos extras são dimensionados e alocados para otimização local

Fonte: Adaptado de Ballard e Howell (2003)

O desenvolvimento de estudos referentes ao fluxos de trabalho e sua transparência nos processos levou a autores como Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) desenvolver sistemas informatizados para a facilitação do entendimento das atividades que podem ser reduzidas devido ao caráter de não agregação de valor. Os autores ainda apresentam os requisitos fundamentais da Construção Enxuta descritos na Quadro 2.

Quadro 2: Requisitos da aplicação da construção enxuta

Nº	Requisito
1	Planejamento de atividades de maneira efetiva prevendo problemas e questões de segurança
2	Comunicação de processo padronizados aos trabalhadores
3	Monitoramento da produção e identificação de benchmarks de performance para experimentos de melhoria
4	Filtragem de pacotes de serviço para assegurar a estabilidade
5	Aproximar informações técnicas para pacotes de serviço quando necessário
6	Providenciar sinais de fluxo puxado para regular a produção
7	Entrega <i>Just-in-time</i> de materiais e partes
8	Atrair a atenção da gerência para onde é necessário para destravar gargalos ou facilitar o fluxo
9	Responder com flexibilidade às mudanças

Fonte: Adaptado de Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009)

Sendo um dos principais focos da construção enxuta, Bajjou e Chafi (2020) conduziram uma pesquisa que investiga empiricamente os principais e críticos fatores de desperdício em empreendimentos da construção civil. Ainda que a pesquisa tenha sido realizada em Marrocos, é possível extrair uma visão geral da situação do setor quanto ao problema apresentado, sendo que os três de mais destaque foram o atraso não programado no início das atividades, retrabalho das tarefas e a não utilização da criatividade dos empregados, o que demonstra certa mudança na mentalidade dos gestores quanto à participação dos operários nas decisões estratégicas das atividades.

2.1.4 QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

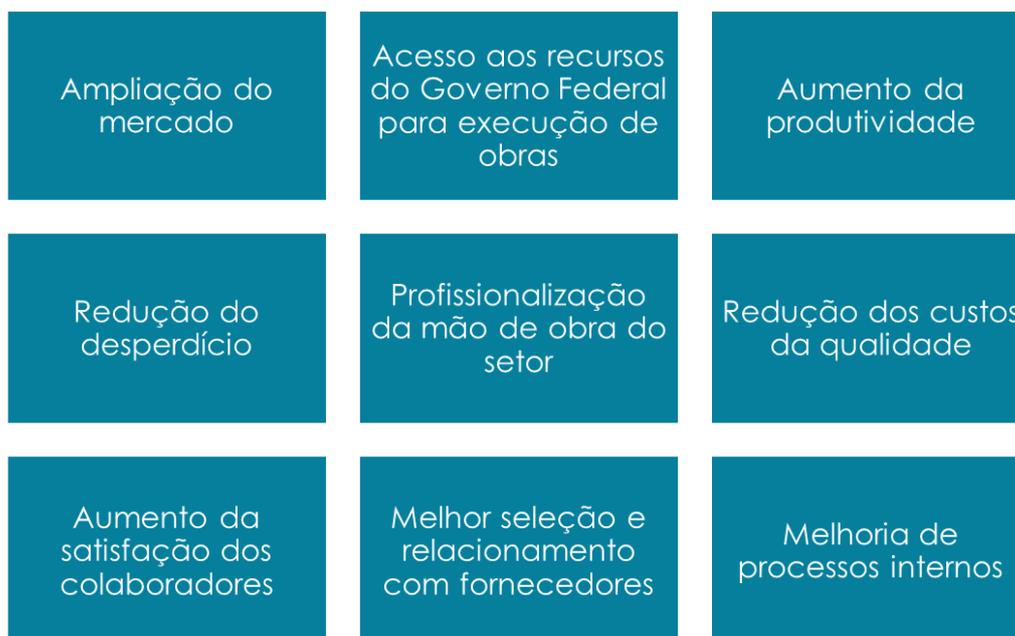
O gerenciamento da qualidade em qualquer setor da economia representa um dos aspectos mais importantes na avaliação operacional de processos. Sendo assim, os estudos das práticas de gestão da qualidade são fundamentais para o bom desenvolvimento e manutenção competitiva das organizações estabelecidas (NAIR, 2006).

É notório que a indústria da construção civil ao longo dos anos busca o aprimoramento frente à qualidade das edificações e produtos correlacionados à área, com ações que visam principalmente redução de custos e prazos de entregas. O desenvolvimento constante no desempenho de empresas construtoras tem como objetivo a obtenção de certificação com base nas normas ISO 9000 (*International...*, 2008) e no Programa Brasileiro de Qualidade e

Produtividade no Habitat (PBQP-H) em empresas de entendimento mais burocrático e até mesmo voltado ao marketing (BERR; FORMOSO, 2012), enquanto que a qualidade como uma definição mais pura busca a melhoria de processo e produtos buscando o atendimento integral dos requisitos dos clientes, sendo eles finais ou parciais.

Criado em 1991, o PBQP-H tem como finalidade difundir os novos conceitos de qualidade, gestão e organização da produção, indispensáveis à modernização e competitividade das empresas brasileiras (PEREIRA; MOURA, 2013). Ainda segundo os autores, o programa apresenta uma série de benefícios os quais foram selecionados e apresentados por meio da Figura 5:

Figura 5: Benefícios do PBQP-H



Fonte: Adaptado de Pereira e Moura (2003)

Segundo Berr e Formoso (2012), os agentes financiadores de políticas habitacionais do Governo Federal brasileiro, como a Caixa Econômica Federal, necessitam de informações sobre a qualidade da execução das habitações por eles financiadas, apoiando e controlando a qualidade dos empreendimentos por meio de vistorias às construções verificando avanço físico e qualidade do produto.

O desenvolvimento da qualidade na construção civil se encaixa como um desafio para o setor visto que o mesmo enfrenta uma grande quantidade de variáveis, além de atividades desenvolvidas em um ambiente dinâmico e cambiante (MAGALHÃES; MELLO; BANDEIRA, 2017). Sendo assim, o setor se apoia em normas estaduais e/ou nacionais, como as citadas previamente, para a parametrização dos indicadores de qualidade, porém diversas ferramentas e métodos podem ser aplicados para a obtenção de certificações almejadas.

A qualidade na execução de obras objetiva o controle do desenvolvimento das atividades relacionadas ao produto final em si: a edificação. Desse modo é possível afirmar que:

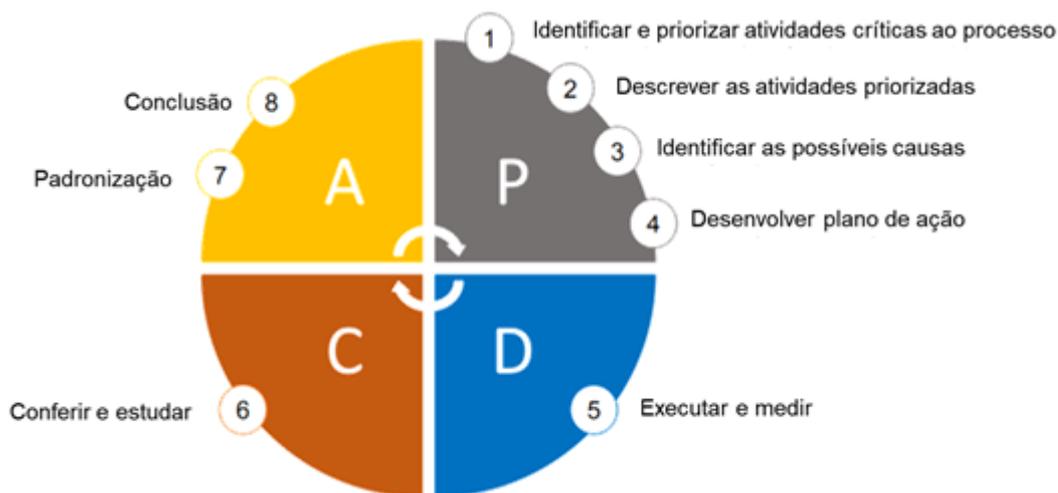
A qualidade da obra como um todo é resultante da qualidade na execução de cada serviço específico do processo de produção. Na realidade, trata-se de girar o ciclo PDCA, ou seja, padronizar e planejar a execução dos serviços, treinar a mão de obra envolvida, fazer de acordo com o padrão, checar o que foi realizado e promover ações corretivas quando for o caso (SOUZA et al., 1995).

A qualidade da obra como um todo é resultante da qualidade na execução de cada serviço específico do processo de produção. Na realidade, trata-se de girar o ciclo PDCA, ou seja, padronizar e planejar a execução dos serviços, treinar a mão de obra envolvida, fazer de acordo com o padrão, checar o que foi realizado e promover ações corretivas quando for o caso (SOUZA et al., 1995).

Assim sendo, cabe a explicação mais aprofundada do ciclo PDCA e seus benefícios para o gerenciamento da qualidade na execução das atividades de construção civil.

O PDCA é um método que visa controlar e conseguir resultados eficazes e confiáveis nas atividades de uma empresa, podendo ser usado de forma contínua para o gerenciamento das atividades de uma organização. Consiste em uma sequência de procedimentos lógicos, baseados em fatos e dados e com foco na melhoria contínua (SILVA et al., 2017). A Figura 6 demonstra as etapas que compõe tal ciclo de melhoria contínua:

Figura 6: Ciclo PDCA e seus fases correspondentes



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2017)

As etapas do Ciclo PDCA são definidas da seguinte maneira:

P (Plan) - Consiste na primeira fase do ciclo, sendo essa a de planejamento. É nela que se definem as metas (quantidades e prazos a serem alcançados) e os métodos que irão possibilitar a realização dessas metas. Nesta fase, oportunidades de melhoria são identificadas e priorizadas; a situação atual do processo é investigada através de dados consistentes; as causas do problema são determinadas; e possíveis ações para mitigar os problemas (SILVA et al., 2017). A construção civil possui como documentação adequada para tal fase do PES (Procedimento de Execução de Serviço) o qual elenca qual o serviço que será executado; o objetivo de tal atividade; os documentos que devem servir de referência para a devida execução; os materiais, equipamentos e ferramentas adequados e; o método executivo que deve ser aplicado.

D (Do) - É a fase de realização, quando os colaboradores envolvidos serão treinados e, em seguida, executarão o produto e/ou serviço. Essa etapa consiste em executar as tarefas como previsto no planejamento e coletar dados para a fase de verificação. Executa-se o planejado conforme as metas e métodos definidos. As atividades devem ser supervisionadas para garantir que os procedimentos sejam executados como o plano (CAMPOS, 1990);

C (*Check*) - Os mecanismos de controle serão estabelecidos em tal fase para que posteriormente sejam verificados os resultados. Neste ponto, os resultados das ações são analisados. Devem-se verificar continuamente os trabalhos para ver se estão sendo executados conforme o planejado, verificar os resultados que estão sendo obtidos e se os valores medidos variaram, comparando-os com o padrão (CAMPOS, 1990). Em tal fase de conferência, a Planilha de Inspeção de Serviços (PIS) ou a Ficha de Verificação de Serviços se tornam essenciais para analisar os serviços conformes e os não conformes, além de registrar os pontos de melhoria, buscando incrementar a execução em próximas oportunidades.

A (*Act*) - A última fase do ciclo é caracterizada pela tomada de medidas necessárias para corrigir os desvios constatados no processo. Nesta fase, a equipe envolvida desenvolve métodos que padronizarão a melhoria (se o resultado for alcançado); repete o teste para coletar novos dados e reavaliar a intervenção (se os dados coletados forem insuficientes ou as circunstâncias mudaram) (SILVA et al., 2017).

É possível concluir que a padronização de atividades e processos é, portanto, um fator fundamental para a aplicação da qualidade na execução de processos na construção civil, permitindo o fácil controle sobre os processos, a diminuição dos índices de erros, a facilidade para treinamento de funcionários e, por fim, a satisfação dos clientes internos e externos do processo. Os registros dos procedimentos de execução apresentam grande importância, pois para a melhoria da qualidade é essencial o registro formal dos mesmos. Somente procedimentos documentados permitem o treinamento adequado dos colaboradores.

O registro dos procedimentos pode ser realizado de diversas maneiras na construção civil. De forma mais tradicional, é possível escrever relatórios buscando identificar quais atividades foram empregadas em tal processo, a fim de documentar o procedimento gerando certo parâmetro para as próximas obras da empresa.

Também fica claro que a melhoria contínua na construção civil, portanto, ainda apresenta uma grande lacuna de conhecimento em relação ao

desenvolvimento de técnicas gerenciais do tema. Alguns estudos buscam compreender e aplicar ferramentas e métodos provenientes do TQM (Controle da Qualidade Total) com a aplicação de ciclos metodológicos de resolução de problemas, como no caso do PDCA previamente apresentado.

2.1.5 MELHORIA CONTÍNUA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A melhoria contínua é parte fundamental no desenvolvimento das atividades e processos ao longo da vida produtiva das mais diversas empresas. Como estabelecido no decorrer dessa revisão bibliográfica, os estudos primários de desenvolvimento incremental são provenientes das indústrias de manufatura e/ou seriadas. Sendo assim, grande parte das definições e estudos são retirados de tal área do conhecimento.

A gestão da melhoria contínua deve ser encarada como um processo criado com o objetivo de atingir o desenvolvimento incremental e não apenas como atividades isoladas de melhoria. Desse modo, a melhoria contínua pode ser encarada como um processo com estratégias de melhoria da qualidade (*TQM, Lean e Lean Six Sigma*) e também como um sistema de gerenciamento por si só (JHA; NOORI; MICHELA, 1996).

O *TQM*, por exemplo, é um dos processos mais utilizados e pesquisados visando o desenvolvimento contínuo de processos estabelecidos em empresas, sendo um processo de trabalho que busca melhorar a habilidade de entregar produtos e serviços de alta qualidade na melhor análise de custo e produção possível (SPECTOR; BEER, 1994). Cabe indicar que o *TQM* se difundiu mais amplamente quanto a processo de melhoria, no entanto existem outros processos como o *Lean Six Sigma (LSS)*.

Como indicado, a melhoria contínua se tornou uma premissa para a manutenção da competitividade no mercado, sendo conectada com diversos modelos, assim como o *Lean*, o qual não implica apenas na adoção de métodos, mas também na mudança de pensamento e comportamento estratégico, visando o alinhamento de filosofias e ferramentas de acordo com o planejamento estratégico da companhia (TOLEDO et al., 2019).

Kornfeld e Kara (2011) fazem um importante apontamento em uma pesquisa na qual a seleção de projetos de melhoria contínua é conduzida por meio de uma justificativa de que diversos processos de melhoria contínua não atendem às expectativas iniciais das empresas. Isso ocorre, pois diversas empresas não realizam uma análise holística de melhoria, complicam mais que o necessário o processo de melhoria ou aplicam técnicas de melhoria inapropriadas, o que acaba não focando nas atividades corretas, levando à não execução do que era planejado para a empresa.

A aplicação e desenvolvimentos de projetos de melhoria contínua, portanto, pode ocorrer na construção civil, buscando entender as características de tal setor industrial, elencando as demandas de melhoria incremental e conectando com a realidade do mercado. Como indicado, neste setor o desenvolvimento dos estudos dos processos de gerenciamento e de qualidade ainda se encontram atrasados quando comparados com a indústria tradicional de manufatura. Desse modo, tanto a mão de obra, quanto os fluxos e processos devem ser levados em conta quando feita a análise de escolha de processos de melhoria contínua.

Meiling, Backlund e Johnsson (2012) conduziram uma pesquisa que demonstra a correlação entre a aplicação dos princípios da produção enxuta de acordo com o modelo “4P” (LIKER, 2004) como pré-requisitos para o desenvolvimento da melhoria contínua em construtoras que tecnologias construtivas mais industrializadas. O modelo desenvolvido por Liker (2004) possui o formato de uma pirâmide, na qual a base é constituída pela filosofia (*Philosophy*) que é o pensamento a longo termo, acima se encontram os processos (*Processes*) pela eliminação de desperdícios, posteriormente as pessoas e parceiros (*People and Partners*) e no topo da pirâmide a resolução de problemas (*Problem-solving*), por meio da melhoria contínua e aprendizado.

O estudo conduzido por meio de questionário realizados com a gerência da obra e funcionário da produção demonstram como é possível implementar a cultura de melhoria contínua por meio de uma filosofia de trabalho como a produção enxuta. Ainda assim, é necessário o desenvolvimento de processos

que fortaleçam esse gerenciamento qualitativo, dando oportunidades de crescimento tanto por parte da gerência, quanto por parte dos colaboradores.

2.2 SEIS SIGMA

Para a realização de estudos que tenham como objetivo a manutenção e/ou aplicação dos conceitos fundamentais de qualidade, é necessária a utilização de ferramentas que busquem o aprimoramento de atividades e tarefas presentes na conversão de valores diretos aos produtos estudados. No caso da dissertação aqui apresentada, cabe estudar ferramentas que apresentem a possibilidade de aplicação na realidade da construção civil além de buscar inovações perante os métodos amplamente difundidos no contexto de gestão da produção. Desse modo, dentre alguns métodos que foram apresentadas anteriormente, destaca-se o “Seis Sigma” que será analisado a seguir.

2.2.1 DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES

O conceito de Seis Sigma foi inicialmente desenvolvido no início da década de 1980 como ferramenta de gestão da produção interna da Motorola. O sucesso em sua implementação levou outras companhias como IBM e General Electric a adotarem e aplicarem o método do Seis Sigma como forma de atingirem resultados satisfatórios quanto a operações táticas e estratégicas, além de possibilitar a melhoria nos processos de trabalho, o aumento considerável nas habilidades dos funcionários e implementar a cultura de melhoria constante (ABOELMAGED, 2010).

Como descrito previamente, o conceito de qualidade sempre foi amplamente difundido com a definição de atender às conformidades e padrões na constante tentativa de criar produtos, serviços ou atividades dentro de certos limites de especificações (HERAVI; JAFARI, 2014). No entanto, qualidade na visão do Seis Sigma inclui valor econômico e utilidade prática nas atividades e produtos tanto para a empresa produtora quanto para o consumidor.

São diversas as definições que o método recebeu ao longo do tempo, pois passou um intenso período de desenvolvimento após estudos iniciais. Sendo assim, as análises tendem a variar por conta do intenso desenvolvimento do

método ao longo dos anos devido suas diversas aplicações, permitindo variados estudos e conclusões sobre ele. O Seis Sigma foi inicialmente especificado como um método de desenvolvimento qualitativo passou a atuar como uma ferramenta para o gerenciamento e nos dias atuais pode ser considerado como uma das principais chaves para o alcance da excelência em performance de processos e competitividade de negócios (GOH, 2014).

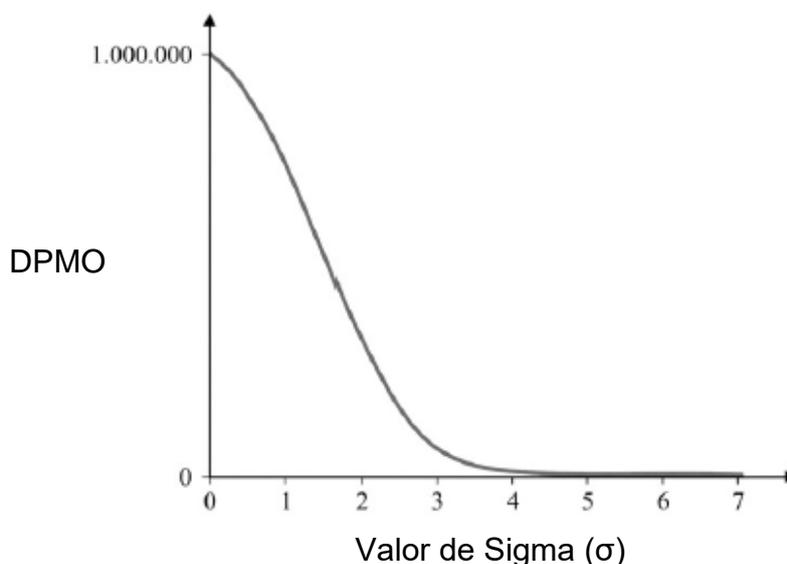
Inicialmente, pode-se entender apenas como uma taxa estatística ou um programa de desenvolvimento de qualidade (ALDOWAISAN; NOURELFATH; HASSAN, 2015) com o objetivo de tangenciar a perfeição dos processos, com apenas 3,4 defeitos por milhão de unidades ou processos, garantindo que tal processo ou empresa seja a melhor de sua área (BEHARA; FONTENOT; GRESHAM, 1995). A Tabela 1 associa o valor em sigma em relação ao número de defeitos por milhão de oportunidades, o que permite o entendimento numérico dos dados. Essa associação é uma correlação básica dos estudos estatísticos que baseiam o Seis Sigma, os quais serão aprofundados posteriormente. Quanto maior o número de sigmas dentro dos limites de especificação indicados, menor a variação e defeitos encontrados no processo ou produto final e, conseqüentemente, um processo mais rigoroso e factível, como é possível analisar pela Figura 7.

Tabela 1: Defeitos por milhão e valores de sigma associados

Número de Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) / Partes por Milhão (PPM)	Valor de sigma associado
691462	1,0
500000	1,5
308538	2,0
158655	2,5
66810	3,0
22750	3,5
6210	4,0
1350	4,5
233	5,0
32	5,5
3,4	6,0

Fonte: Adaptado de Behara, Fontenot, Gresham (1995)

Figura 7: Correlação entre Defeitos por Milhão de Oportunidades e valor de sigma



Fonte: Adaptado de Koziolok e Derlukiewicz (2012)

No entanto, segundo Harry e Schroder (2006), os desenvolvedores do Seis Sigma internamente na Motorola, a ferramenta é um método extremamente disciplinado e rigoroso no levantamento de dados e análise estatística para destacar erros e suas fontes, além de eliminar futuramente os mesmos. Tal definição pode ser complementada com a de Marzagão e Carvalho (2016) que definem como uma filosofia que emprega um método bem estruturada de desenvolvimento contínuo a fim de reduzir a variabilidade dos processos e diminuir perdas e desperdícios com a utilização de técnicas e ferramentas estatísticas.

Segundo Andersson *et al.* (2006), o Seis Sigma pode ser entendido como um programa de desenvolvimento para a redução da variabilidade de processos e produtos focado principalmente em melhoria contínua buscando avanço das técnicas e estudos, além de poder ainda ser classificado como um movimento, método e uma técnica de medição. Como movimento, o Seis Sigma se encontra como um dos principais papéis de gerenciamento nas indústrias de manufatura e serviços ao redor do mundo. Como método é utilizado para avaliar a capacidade de um processo de não apresentar defeitos no qual um defeito é entendido e definido como qualquer elemento que resulte na não satisfação do cliente (JACOBS; SWINK; LINDERMAN, 2015).

Segundo Snee (2020), ainda é possível entender o Seis Sigma como uma abordagem de melhoria de negócios que busca encontrar e eliminar causas de erros ou defeitos nos processos de manufatura ou de projetos, concentrando-se em produtos de importância crítica para os clientes. Como resultado, o desempenho do processo é aprimorado, a satisfação do cliente é aprimorada e o resultado final é impactado por meio de redução de custos e aumento de receita. Uma das definições clássicas referentes ao Seis Sigma é que o mesmo pode ser considerado como uma abordagem estratégica que funciona em todos os processos, produtos, funções da empresa e indústrias (SNEE, 2000).

Por fim, Goh (2014) lista, de modo a resumir e aglutinar conceitos, alguns fatores de sucesso que colaboraram para a grande difusão do Seis Sigma, sendo esses reconhecidos como os “pilares” mais significantes do mesmo, apresentados por meio da Quadro 3.

Quadro 3: Definições dos fatores de sucesso do Seis Sigma

Fator de sucesso do Seis Sigma	Definição
Filosofia	Busca pela excelência organizacional e operacional centrada no cliente
Estrutura	Capacitação hierárquica por meio de cargos a serem ocupados na estrutura do Seis Sigma
Método	Tratamento de dados de maneira analítica e quantitativa por meio de estudos estatísticos
Implementação	Possuir um plano de ação tangível por meio da aplicação do DMAIC ou DMADV
Aplicação	Dar suporte gerencial tanto para as atividades de transacionais quanto serviços
Ferramentas	Utilizar tecnologias predominantes no mercado, tanto em <i>hardwares</i> quanto em <i>softwares</i>

Fonte: Adaptado de Goh (2014)

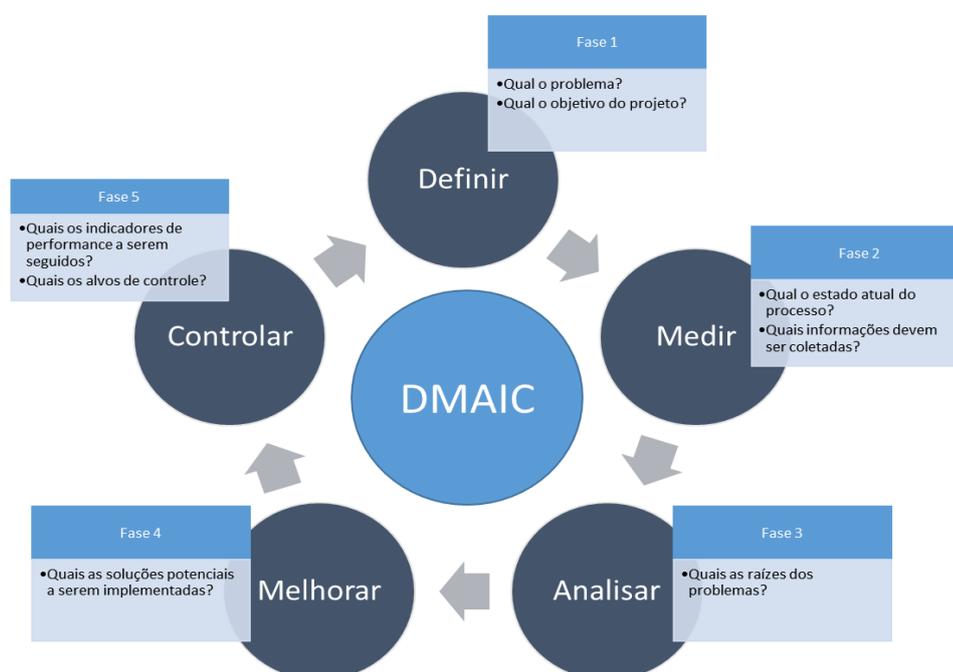
O Quadro 3 permite identificar diversos fatores que colaboram na devida aplicação dos Seis Sigma na gerência da qualidade de projetos, principalmente em relação a sua implementação. No entanto, dois fatores ainda não foram mencionados e apresentam grande importância no entendimento do Seis Sigma: aplicação do *DMAIC* quando o objetivo for a atuação frente a melhoria contínua dos processos existentes como plano de ação e a aplicação do *DMADV* para a melhoria incremental com o objetivo de inovar tanto em processos como na

confeção de novas ferramentas físicas que possibilitam o desenvolvimento gerencial.

a) *DMAIC*

O Seis Sigma, como mencionado anteriormente, possui o potencial de redução de variabilidades em processos e produtos utilizando um método de desenvolvimento contínuo. Esse método é conhecido pela sigla *DMAIC* (*Define, Measure, Analyse, Improve and Control*) que em uma tradução para o português pode ser entendido como um ciclo no qual encontram-se fases de **definição, medição, análise, melhoria e controle**. Cada uma dessas fases é mais bem descrita a seguir, conforme Dakhli, Lafhaj e Bos (2016). A Figura 8 apresenta o *DMAIC* como um ciclo metodológico que permite o desenvolvimento contínuo das melhorias, além de resumir quais são as questões principais que se relacionam com cada fase do ciclo:

Figura 8: Fases e questões do DMAIC



Fonte: Adaptado de Dakhli, Lafhaj e Bos (2016)

Define: Definir qual produto ou processo necessita de melhoria. Além disso, essa etapa busca definir qual o time de membros mais capacitado para trabalhar em tal melhoria. Outra atividade importante, é a definição dos clientes

dos processos e ou produtos, quais suas necessidades e requisições para que, por fim, criar um mapa do processo a ser incrementado;

Measure: Identificar quais são as etapas principais e mais importantes buscando entender o impacto das mesmas nos processos a fim de decidir como serão as técnicas de medição dos serviços estudados;

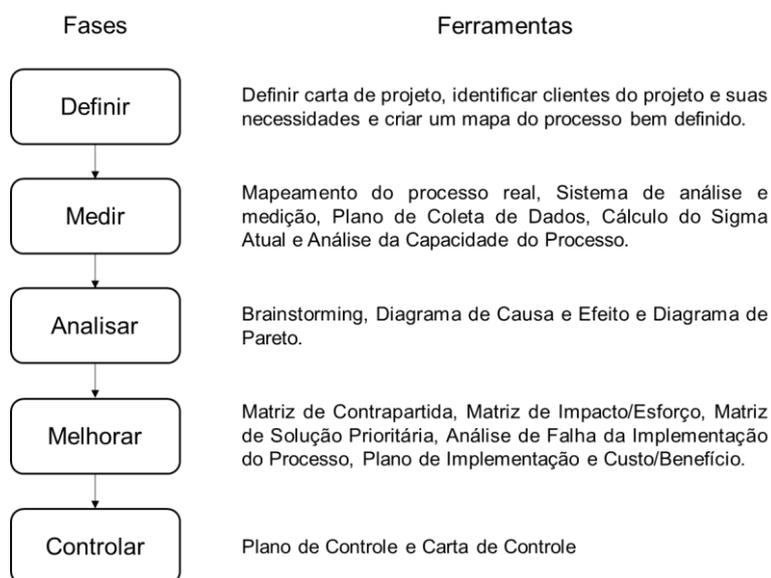
Analyse: Analisar os fatores que necessitam de desenvolvimento;

Improve: Projetar e implementar as soluções mais plausíveis e efetivas, sempre entendendo o seu custo-benefício, visto que o mesmo é fator fundamental na escolha da melhor solução;

Control: Verificar se a implementação das melhorias realmente apresentou sucesso nos resultados e garantir que tais implementações sejam realizadas periodicamente com o passar do tempo.

A Figura 9 demonstra esquematicamente as fases que esse método de implementação possuiu, correlacionando as ferramentas que podem auxiliar na melhor aplicação de cada uma das fases. Um dos elementos principais das estratégias do Seis Sigma é a normatização de métodos e ferramentas de desenvolvimento de qualidade em detrimento de um método complexo (KOZIOŁEK; DERLUKIEWICZ, 2012).

Figura 9: Estrutura de aplicação do Seis Sigma



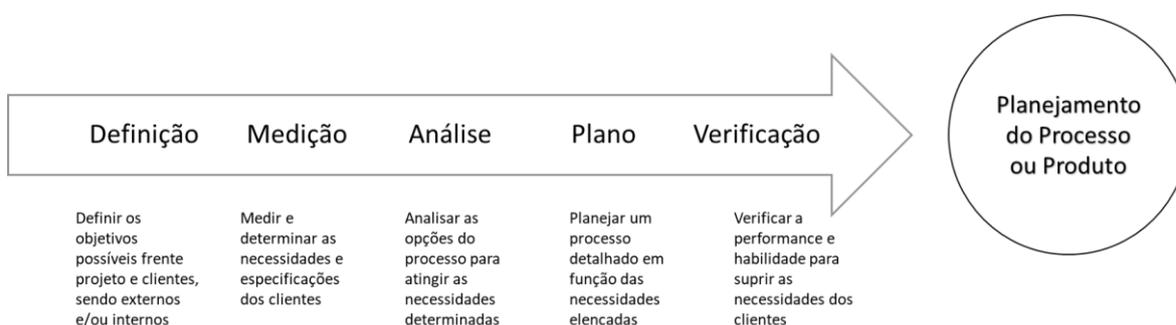
Fonte: Adaptado de Prashar (2014)

b) DMADV

Como indicado por Koziolęk e Derlukiewicz (2012), o ciclo aqui mencionado é parte de um método que busca inventar e inovar produtos, serviços e processos conhecido como *Design For Six Sigma (DFSS)*, cuja tradução livre pode ser entendida como projeto ou planejamento para o Seis Sigma. O objetivo principal de tal ciclo é o desenvolvimento de um novo sistema ou uma adequação do projeto de processos ou serviços existentes.

A sigla possui em suas fases iniciais uma grande semelhança com o método apresentado anteriormente, visto que *DMADV (Define, Measure, Analyse, Design, Verify)* pode ser traduzido em fases que representam **definição, análise, plano e verificação**. A Figura 10 indica tais fases e permite a melhor compreensão de como funciona o caminhar das etapas buscando um objetivo final.

Figura 10: Método DMADV



Fonte: Adaptado de Mouaky, Benabbou e Berrado (2018)

Sendo assim, as fases podem ser descritas da seguinte maneira, sendo parte delas semelhantes ao DMAIC:

- *Define*: Definir qual produto ou processo necessita de melhoria. Definição dos clientes dos processos e ou produtos, quais suas necessidades e requisições para que, por fim, criar um mapa do processo a ser incrementado;
- *Measure*: Decidir como serão as técnicas de medição dos serviços estudados em função das necessidades dos clientes;

- *Analyse*: Analisar os fatores e opções que necessitam de desenvolvimento de acordo com as requisições levantadas;
- *Design*: Planejar as soluções mais plausíveis e efetivas, sempre entendendo o seu custo-benefício e a relação com as necessidades encontradas;
- *Control*: Verificar se a implementação das melhorias realmente apresentou sucesso nos resultados e garantir que tais implementações sejam realizadas periodicamente com o passar do tempo (DAKHLI; LAFHAJ; BOS, 2016).

O ciclo de melhoria *DMAIC* é de fundamental importância na estruturação de um método de desenvolvimento e união de conceitos como é o Seis Sigma. Além disso, por se tratar de um estudo referente à construção civil que ainda encontra grandes dificuldades nos métodos gerenciais, o ciclo *DMAIC* é o foco do estudo.

2.2.2 ESTRUTURA HIERÁRQUICA

Os diversos programas e processos de melhoria contínua possuem diferentes métodos de aplicação que também são refletidas na estruturação de equipes responsáveis pelo desenvolvimento desses. O Seis Sigma tem como diferencial a estrutura hierárquica bem definida e treinada, reservando pessoas com competências desejadas para a resolução de determinado problema. Para tal, desenvolveu-se o sistema de *Belts* apresentados no Quadro 4 que tem como principal objetivo elencar cargos de gerenciamento dos projetos de melhoria, além de esclarecer os responsáveis por cada atividade e a carga de treinamentos disponibilizada a cada um.

O sistema aqui apresentado nada mais é do que a construção de um ambiente propício ao gerenciamento e desenvolvimento de projetos, no qual cada membro do time possui um papel a ser desenvolvido (DEDHIA, 2005). A nomenclatura “*belt*” tem sua origem nas artes marciais, sendo uma tradução livre “faixas”, e busca indicar as fases de treinamento e consequente aquisição de experiência e habilidades em projetos de melhoria contínua ao longo dos anos.

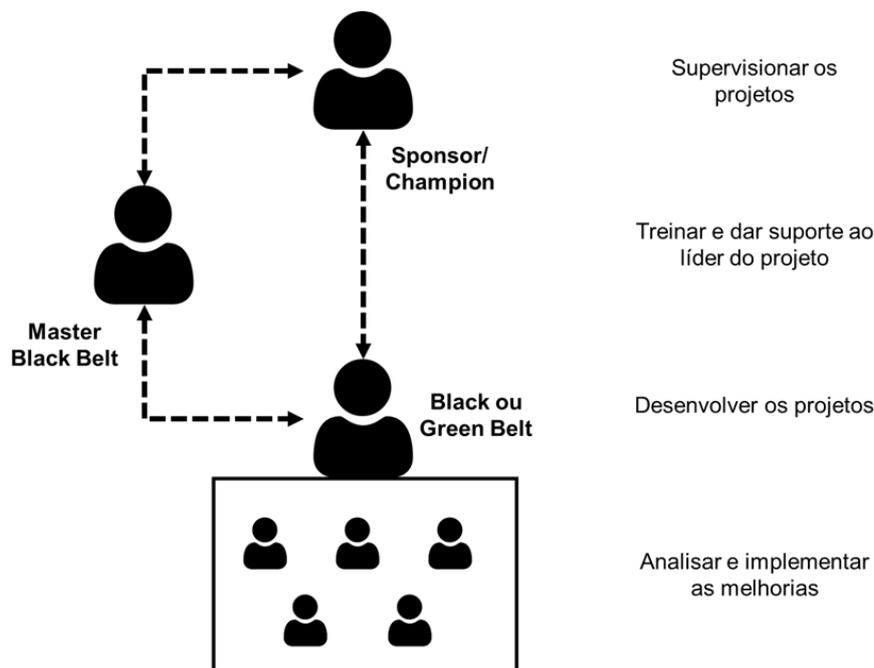
Quadro 4: Sistema Belt

	Green Belts	Black Belts	Champions
Perfil	Embasamento técnico, respeitado pelos colegas de trabalho e habilidoso com as técnicas e métodos estatísticos da qualidade	Formação técnica, respeitado pelos colegas de trabalho e pela alta administração, habilidoso com as técnicas e métodos estatísticos e da qualidade	Gerente sênior; Líder respeitado e mentor das questões relacionadas ao negócio; Forte impulsionador do programa Seis Sigma
Papel	Conduzir as equipes de melhoria de processos, treinar nas técnicas e métodos e acompanhar a análise, auxiliar os Black Belts e se dedicar parcialmente aos projetos Seis Sigma.	Conduzir projetos de melhoria de alto impacto para a empresa e ligados à estratégia; Agir como um agente de mudanças; Ensinar e liderar membros das equipes multifuncionais, Dedicar-se integralmente ao Seis Sigma; Transformar os projetos de melhoria em benefícios financeiros	Prover os recursos e forte liderança para os projetos Seis Sigma; Inspirar e compartilhar a visão do Seis Sigma; Estabelecer planos e criar infraestrutura; Desenvolver indicadores de desempenho; Converter os resultados em benefícios financeiros
Treinamento	Duas sessões de três dias com um mês para a aplicação dos conceitos e revisão do projeto na segunda sessão	Quatro sessões de uma semana com três semanas para aplicação dos conceitos e revisão do projeto nas sessões dois, três e quatro	Uma semana de treinamento especial para <i>Champions</i> ; Elaboração do plano de desenvolvimento e implementação do Seis Sigma
Número	Cerca de 5% do total de funcionários	Entre 1% e 2% do total de funcionários	1 por unidade de negócio

Fonte: Adaptado de Toledo et al. (2014); Coronado e Antony (2002)

A Figura 11 apresenta esquematicamente a função de cada cargo dentro da hierarquia descrita, além das relações entre cada nível Belt.

Figura 11: Estrutura hierárquica do Seis Sigma



Fonte: Adaptado de Toledo et al. (2014)

2.2.3 MÉTRICA E INDICADORES ESTATÍSTICOS

Após as definições apresentadas, é possível compreender que o Seis Sigma pode ser definido de diversas maneiras. A sua definição contempla, principalmente, a utilização do ciclo DMAIC e DMADV buscando a padronização de tomadas de decisões, além da busca pela melhoria incremental.

Cabe, agora, indicar quais os principais métodos de cálculo para a obtenção dos valores de sigma em função da medição realizada, a qual se pretende incrementar qualitativamente.

O cálculo do nível de Seis Sigma é realizado, normalmente, de três principais maneiras:

a) PPM (Partes por Milhão): Quando algum processo ou produto pode ser compreendido pela classificação do tipo “defeituosa”, compreende-se que é possível caracterizá-lo de maneira atributiva, sendo que tal maneira se aproxima de uma avaliação binária (conforme/não conforme, bom/ruim). A Equação 1 representa matematicamente o cálculo descrito:

$$PPM = \frac{n^{\circ} \text{peças defeituosas}}{n^{\circ} \text{peças avaliadas}} * 10^6 \quad \text{Eq. 1}$$

Após o cálculo do PPM, compara-se o valor encontrado com tabelas de níveis de sigma como a Tabela 1.

b) DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades): Assim como o método de cálculo anterior, o DPMO também pode ser considerado como uma medida de atributos. No entanto, sua classificação agora é do tipo “defeito”. A diferença entre “defeituoso” e “defeito” é que, por exemplo, em uma mesma peça defeituosa podem ser encontrados diversos defeitos. É possível descrever a métrica apresentada pela Equação 2:

$$DPMO = \frac{n^{\circ} \text{defeitos} * 10^6}{n^{\circ} \text{oportunidades} * n^{\circ} \text{peças}} \quad \text{Eq. 2}$$

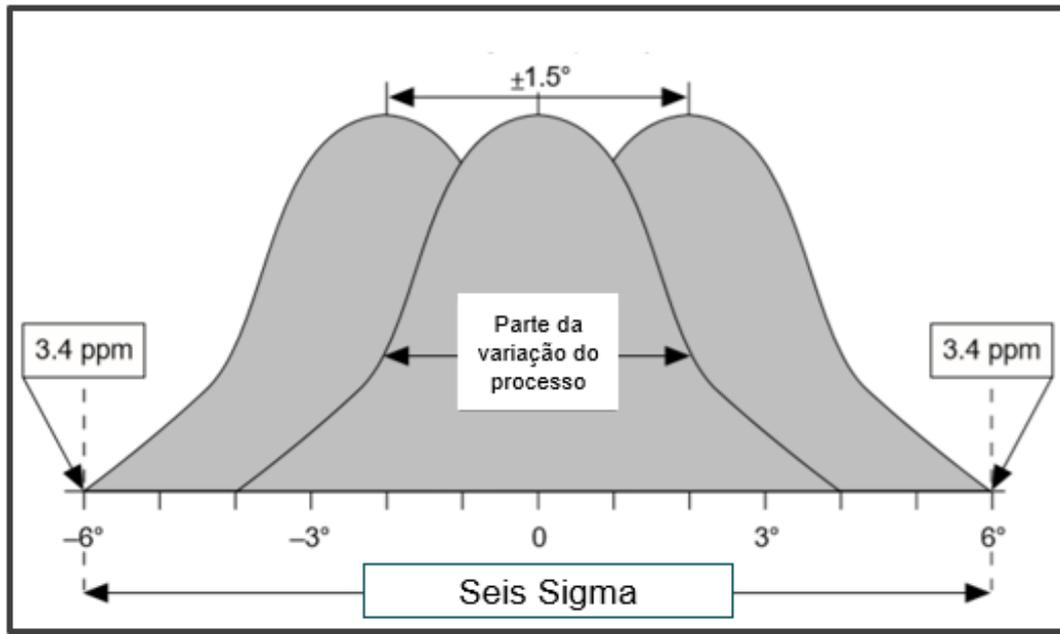
Esse método de cálculo pode ser utilizado para análises simples que buscam entender de maneira binária se alguma atividade e/ou serviço está de acordo com as especificações desejadas, no qual o valor encontrado pela equação é comparado com o valor de sigma por meio de tabelas como a Tabela 1. Pheng e Hui (2004) utilizaram tal métrica para a análise qualitativa da presença de defeitos em acabamentos internos de paredes, pisos, tetos, portas, janelas e componentes extras. O cálculo foi baseado na confecção de uma *checklist* que indicava a presença ou não de defeitos nos acabamentos de cada um dos elementos construtivos descritos, possibilitando o cálculo de defeitos por milhão de oportunidades de acordo com a execução de cada pavimento.

c) Cpk (Índice de Capacidade do Processo): Tal análise numérica é recomendada para a medição de valores por meio de números contínuos como espessuras, diâmetros, comprimentos entre outras medidas, possibilitando a análise estatística de diversos exemplares do mesmo produto estudado.

A capacidade do processo normalmente pode ser entendida por uma curva de distribuição Normal (BEHARA; FONTENOT; GRESHAM, 1995), na qual os limites medidos teoricamente não devem passar os limites inferiores e superiores de especificação. Os dados tendem a se comportar normalmente na forma de tal curva apresentada pela Figura 12, no qual o centro do eixo horizontal é a requisição do cliente e as variações podem ocorrer tanto superiormente

quanto inferiormente, o que permite visualizar se um processo é capaz (os dados analisados estão mais ao centro) ou não (os dados tendem a se organizar mais às pontas).

Figura 12: Curva normal de análise de capacidade do processo



Fonte: Adaptado de Behara, Fontenot, Gresham (1995)

A Equação 3 indica o método de cálculo do nível de sigma descrito:

$$Cpk = \min \left(\frac{LSE - Média}{3 \cdot DP}, \frac{Média - LIE}{3 \cdot DP} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

Na qual,

LSE = Limite Superior Especificado;

Média = Média da distribuição;

LIE = Limite Inferior Especificado;

DP = Desvio Padrão da distribuição.

Por fim, tem-se que

$$\sigma = 3 * Cpk \quad \text{Eq. 4}$$

2.3 LEAN SIX SIGMA

2.3.1 DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES

Uma quantia considerável de estudos referentes ao gerenciamento da qualidade, além de seus princípios e ferramentas foi reunido e desenvolvido, ao longo dos anos, em diferentes áreas sendo elas de sistemas industriais e, mais recentemente, na área da construção civil. Métodos como o Seis Sigma e posteriormente o *Lean Six Sigma* foram criados, desenvolvidos e aplicados para identificar e corrigir não conformidades (ISA; USMEN, 2015).

De acordo com Isa e Usmem (2015), a natureza do método do *Lean Six Sigma* é adaptar sistematicamente os conceitos e princípios da produção enxuta com a estrutura de análise qualitativa do *DMAIC*. Desse modo, o objetivo final é tentar excluir as atividades que não agregam valor, além de analisar as atividades que agregam valor com baixo custo de aplicação das atividades. Isso ocorre por meio da aplicação de ferramentas e princípios vinculados ao entendimento de fluxos do processo, buscando a diminuição de desperdícios sejam eles quais forem. Além disso, a utilização de ciclos de melhoria contínua busca a intensa análise dos produtos e/ou processos, visando a diminuição da variabilidade desses, possibilitando o atendimento dos requisitos do cliente de maneira mais adequada.

Isso ocorre em detrimento da ideia principal da construção enxuta que é reduzir o desperdício, pois a mesma pode impulsionar o tempo de projeto e racionalizar o custo das operações, além de ter impacto na sustentabilidade das construções que normalmente é evidenciado na redução do impacto ambiental da atividade em questão.

O Quadro 5 compara, de acordo com a visão dos autores Hussain et al. (2019), os principais fatores que correlacionam o pensamento enxuto e o método do Seis Sigma, possibilitando o entendimento empírico de tais pesquisadores da integração de ambos para o desenvolvimento de técnicas de gerenciamento.

Quadro 5: Parâmetros de comparação entre visão enxuta e Seis Sigma

Parâmetros	Visão Enxuta	Visão do Seis Sigma
Objetivos	Explorar e remover o desperdício e atividades que não agregam valor	Melhorar a qualidade de processos, produtos e serviços através da melhoria contínua
Conceitos	Sistemas de Kanban, processos 5S, redução de desperdício, sistema puxado, controle visual, fluxo contínuo	Método <i>DMAIC</i> , controle de processos estatísticos
Similaridades	Busca a eliminação do desperdício e atividades não produtivas para a melhoria da qualidade	Diminuição dos defeitos nos processos para a melhoria da qualidade
Diferenças	Considera desperdícios e sua respectiva remoção	Considera foco contínuo na qualidade por meio da diminuição de defeitos em produtos e serviços
Vantagens	Diminui custos, melhora a performance, economiza tempo e diminui desperdícios na produção	Melhora a qualidade, diminui a rejeição de produtos, aumenta a eficiência e economiza custos
Desvantagens	Alto custo de aplicação, problema quanto a suprimentos e resistência por parte dos colaboradores	Alto custo de aplicação do projeto, consumo de tempo, colaboradores
Áreas de implantação	Prestação de serviços, setor público, cadeia de suprimentos, construção civil	Indústrias de manufatura, construção civil, cadeia de suprimentos, desenvolvimento de produtos

Fonte: Adaptado de Hussain et al. (2019)

O Quadro 5 demonstra algumas ideias que podem ser confrontadas na literatura, como a ideia de que o *Lean* pode ter alto custo de implantação, sendo que o método pode ser aplicado em qualquer atividade sem grandes valores despendidos. Além disso, as áreas de implantação também apresentam considerações a serem feitas, como a ausência da indústria de manufatura como área de aplicação da visão enxuta, sendo que esse é um dos setores que estudam e aplicam de forma mais difundida os conceitos da mentalidade *Lean*. Portanto, entende-se que os autores que desenvolveram o Quadro 5 não realizaram uma pesquisa em todos os contextos de indústrias para embasarem a sua proposta, apresentando ainda abordagens limitadas. Reforça-se, assim, a importância dessa pesquisa em apresentar um panorama referente à indústria da construção civil.

Os autores Han et al. (2008) apresentaram uma pesquisa conduzida bem aos moldes dos programas Seis Sigma e *Lean*, visto o seguimento das

instruções do ciclo DMAIC com a utilização de ferramentas importantes para cada uma das etapas como diagrama espinha de peixe. A importância da pesquisa é inserida justamente na diminuição de variabilidades dos processos por meio da diminuição dos tempos de ciclo das atividades da construção civil. Para tal, foram utilizadas simulações computacionais com o objetivo de prever e simular atividades de fluxos que não agregam valor ao produto.

Com o auxílio das ferramentas computacionais e do método de gerenciamento da qualidade, a pesquisa concluiu que o *Lean Six Sigma* contribui para a redução dos tempos de ciclo das tarefas com o enfoque nas atividades de fluxo. Os dados foram apresentados por meio da capacidade do processo, o que demonstra a eficácia do uso da simulação computacional que permite a melhor e mais completa captura de dados de planejamento.

2.4 PESQUISAS DE MEDIÇÃO DA APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA EM DIFERENTES INDÚSTRIAS

As indústrias apresentam diversas e diferentes necessidades quando avaliadas o contexto de qualidade e principalmente melhoria contínua. Entende-se, portanto, que as adaptações quanto à implantação do Seis Sigma devem ser estudadas de maneira particular em cada setor produtivo. Sendo assim, buscou-se exemplificar algumas diretrizes e/ou questionários a fim de reforçar a base argumentativa da metodologia proposta para a pesquisa.

Figueiredo (2016) desenvolveu uma pesquisa a fim de compreender a aplicação do *Lean Six Sigma* em micro, pequenas e médias empresas no setor de calçados. Para tal, utilizou-se de estudos de caso buscando balizar a realidade das empresas do setor produtivo mencionado e posteriormente apresentar diretrizes claras para a implementação do LSS. É interessante citar que as diretrizes são divididas em princípios que norteiam a sua classificação, enquanto a pesquisa presente na dissertação de Figueiredo (2016) divide ações (ou até mesmo princípios) para a avaliação da aplicação do Seis Sigma em construtoras por meio das fases presentes no ciclo DMAIC. Os princípios são os que segue:

- a) Desenvolver e manter uma filosofia de longo prazo;
- b) Focar no cliente;
- c) Desenvolver líderes;
- d) Desenvolver pessoas e equipes profissionais;
- e) Desafiar e respeitar a rede de parceiros e fornecedores;
- f) Criar cultura da melhoria contínua;
- g) Focar na perfeição de produtos, processos e serviços;
- h) Reduzir variabilidade;
- i) Utilizar ferramentas de gerenciamento de processos e qualidade.

Assim como a autora anterior, Regis (2015), também busca propor os princípios da aplicação do Seis Sigma a fim de avaliar a maturidade de aplicação do sistema de gestão da qualidade. O questionário, portanto, é preenchido por um pequeno comitê que avalia empiricamente qual o estado de aplicação de cada princípio, classificando posteriormente a sua maturidade.

É interessante apontar que Antony e Banuelas (2002) propõem os ingredientes chave para a aplicação do programa Seis Sigma, o que se aproxima em grande parte como princípios fundamentais para as boas práticas de introdução e manutenção do sistema de controle da qualidade. Os princípios são apresentados como segue:

- a) Envolvimento e comprometimento da liderança;
- b) Mudança cultural;
- c) Infraestrutura organizacional;
- d) Treinamento;
- e) Habilidades de gerenciamento de projetos;
- f) Seleção e priorização de projetos, revisões e rastreamento de indicadores;
- g) Entendimento do método, ferramentas e técnicas do Seis Sigma;
- h) Conexão do Seis Sigma à estratégia de negócios;
- i) Conexão do Seis Sigma com o consumidor;
- j) Conexão do Seis Sigma com recursos humanos;
- k) Conexão do Seis Sigma com fornecedores.

A realização de questionários mostra-se como assunto presente em diversas pesquisas avaliadas na literatura, as quais possuem temas frequentes

como os princípios básicos para a implantação do sistema de gestão da qualidade, mas também os fatores críticos de sucesso de sua aplicação em empresas do setor de manufatura e indústria seriada. A pesquisa de fatores críticos para a implantação do Seis Sigma é justamente o que propõem Trad e Maximiano (2009). Na pesquisa em questão, foi investigado e validado por meio de avaliação de questionário os fatores principais propostos pelos autores que impactam na correta e com sucesso implantação do sistema em organizações de contexto empresarial, possibilitando a correção dos resultados com as características organizacionais das empresas, vislumbrando também outras classificações estruturais que possibilitem essa aplicação.

O questionário e pesquisa desenvolvidos por Aboelmaged (2011), caminha próximo às pesquisas apresentadas, no entanto busca validar a influência das barreiras de implementação do Seis Sigma e sua variação de acordo com o tamanho da organização. Cabe ressaltar que os resultados da pesquisa aqui citada são de valiosa importância para a dissertação, visto que, de certa maneira, indica os impedimentos, como a falta de conhecimento sobre o Seis Sigma, falta de recursos financeiros e resistência à mudança que também pode ser encontrado no contexto da construção civil.

Algumas outras pesquisas como a conduzida por Antony e Desai (2009) buscam ir além e avaliam o status de implementação do Seis Sigma em empresas que aplicaram o modelo de gestão da qualidade em algum âmbito de sua empresa. É interessante observar que desde 2009 são poucos os estudos que avaliam tanto a aplicação quanto o status pós aplicação do Seis Sigma, como observado pelos autores e concluído por pesquisa na literatura sobre o tema, gerando uma lacuna na área de conhecimento.

Sreedharan, Sunder e Raju (2018) analisaram, por meio de revisão bibliográfica estruturada e sistemática, os fatores críticos de sucesso do CTQ (Controle Total da Qualidade), Seis Sigma, *Lean* e *Lean Six Sigma*. É interessante analisar que mais de 40 trabalhos foram apresentados, os quais traziam em sua maioria o desenvolvimento de modelos de avaliação dos fatores críticos de maneira quantitativa ou qualitativa dos dados. Engajamento da alta liderança novamente aparece como um dos principais fatores, além de

treinamentos intensos e mudança cultural, demonstrando como o Seis Sigma influencia na mudança de visão estratégica de uma empresa.

Na construção civil, são escassos os números de pesquisas referentes à temática proposta pela pesquisa. Seguindo a mesma linha de pesquisa, porém com abordagem em grandes empresas de construção civil na Turquia, Taner (2013) também investigou os fatores críticos para o sucesso da implementação do Seis Sigma. Utilizando-se de um método baseado em avaliações por questionários, conclui-se que o compromisso da alta liderança, a conexão de clientes com iniciativas voltadas à qualidade e a gestão da qualidade com os fornecedores são os fatores mais apontados pelo setor construtivo.

O objetivo principal de Ullah et al. (2017) é abordar a investigação do nível de implementação de projetos Seis Sigma na indústria da construção no Paquistão. Como é sabido, a implementação de filosofias depende de diversos fatores, econômicos, políticos e até mesmo culturais. Por esse motivo, há pertinência de estudar apenas um país quanto ao foco da pesquisa. O artigo ainda busca identificar uma série de casos, desafios e oportunidades de melhoria da aplicação do Seis Sigma.

Os estudos foram realizados com base na revisão da literatura, mas principalmente com questionários conduzidos de forma a entender relações entre componentes e ferramentas de projetos com o Seis Sigma e um projeto de sucesso por meio de teste de hipóteses. Diversos fatores foram relacionados em uma equação na qual diversas variáveis constroem a relação entre o Seis Sigma e o sucesso em um projeto.

Assim como em diversos países, a construção civil no Paquistão está baseada no sistema tradicional de gestão, sendo ele com baixo nível de alerta para desperdícios e pouco desenvolvimento da melhoria contínua. A aplicação de métodos e ferramentas do Seis Sigma aproximam os projetos analisados de uma maior taxa de sucesso, devido ao caráter de redução de variabilidades, aumento da melhoria incremental e desenvolvimento de técnicas de gerenciamento sustentável. Ainda assim, o Seis Sigma como realidade na construção civil não é enxergado como um horizonte próximo devido aos

grandes atrasos da construção civil, mas pode ser encarado como um bom norteador para os desenvolvimentos do setor.

2.5 SEIS SIGMA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Buscando compreender as práticas e estudos mais condizentes com a dissertação apresentada, as pesquisas apresentadas nesse item específico e direcionado para a construção civil são provenientes da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que é apresentada em sua totalidade, inclusive sua metodologia e dados quantitativos e qualitativos, no Apêndice A.

Foram escolhidos de maneira sistemática os artigos com o tema de aplicação do Seis Sigma na construção civil, os quais se encaixam em um intervalo de tempo pertinente à pesquisa e seu entendimento, buscando trazer relevância atual ao trabalho, principalmente nas diretrizes e princípios aplicados na construção civil frente ao uso do Seis Sigma.

Sendo assim, são apresentados e classificados os princípios do Seis Sigma aplicados recorrentemente em estudos na indústria da construção, os quais servirão, posteriormente, de base para o questionário desenvolvido, o qual busca avaliar a aplicação do método no setor. Os princípios identificados foram tratados como tópicos nos quais há a colaboração das pesquisas levantadas.

As pesquisas de outras indústrias foram previamente apresentadas a fim de contextualizar o assunto em diferentes abordagens e até mesmo áreas, discutindo, portanto, a relevância do assunto não apenas para a construção civil, mas para o mercado em uma análise mais global.

Cabe analisar quais foram os estudos realizados até a presente data na construção civil sobre o tema com o foco na aplicação do *Lean Six Sigma* ou apenas Seis Sigma dentro de atividades da construção civil.

a) Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança

A capacidade de resolução de problemas que uma empresa possui pode ser encarada como uma análise estratégica quando a alta gerência atua como

patrocinadora na implementação de projetos voltados à gestão da qualidade e, também, relacionados ao Seis Sigma (LEE; SU, 2013).

Liderar pelo exemplo é entendido como um dos principais fatores de sucesso na aplicação do Seis Sigma em diversas áreas do conhecimento e é apontado ao longo da pesquisa de Pheng e Hui (2004), sendo essa uma das pioneiras e direcionadoras do tema na construção civil. Os autores apontam a necessidade de a gerência estar presente nas decisões relacionadas com o controle interno do produto a ser entregue, buscando elencar valores e patamares a serem atingidos, além de se mostrar disponível para análise de mudanças qualitativas.

Também é apresentado por Han et al. (2008) e Bos, Kemper e Waal (2014) a visão necessária do líder próximos às decisões a serem tomadas, além da presença na análise dos dados apresentados, tornando-se estratégica para a correta tomada de decisões.

Também é pertinente indicar que o estudo realizado por Gijo e Sarkar (2013) desta a importância da participação da gerência em todas as etapas do desenvolvimento do ciclo de melhoria, visando a próxima relação entre os interessados pelo projeto e os responsáveis pela execução e atuação na obra em si.

b) Treinamento e reconhecimento de recursos humanos

A busca constante pela melhoria contínua na indústria da construção civil na qual os processos ainda são em grande parte manuais, envolve o constante treinamento da mão de obra responsável pela produção da edificação, além do treinamento dos responsáveis pelo gerenciamento dos processos e produtos.

A certificação por meio do sistema *belt* é mencionada e reforçada a sua importância por meio da pesquisa de Pheng e Hui (2004), Bos, Kemper and Waal (2014) e Isa e Usman (2015), na qual é destacado o treinamento especializado para a solução de problemas relacionados à gestão da qualidade.

Anderson e Kovach (2014) apresentam em sua pesquisa voltada à qualidade da solda em projetos industriais a necessidade do treinamento não

apenas da gerência em todos os seus níveis, mas também da mão-de-obra que realmente agrega valor ao produto em si, sendo essa a responsável pela atividade de sondagem. Entende-se que a capacitação deve ser reforçada para que o produto final atenda aos requisitos do cliente por consequência de um processo bem realizado.

c) Intensa coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade

A pesquisa conduzida por Han et al. (2008) também pode ser considerada como uma das pioneiras na análise de casos por meio do método do Seis Sigma. O estudo traz um forte viés de análise estatística dos dados, além de simulações numéricas, reforçando a necessidade de da coleta de dados para uma análise de tomada de decisão baseada em dados estudados qualitativamente, mas também quantitativamente. É interessante abordar que os autores realizaram a análise dos tempos de ciclos de atividade em canteiros de obras por meio do estudo da capacidade dos fluxos dos processos, trazendo, portanto, dados aprofundados por meio das variações das medidas de tempo avaliadas, gerando limites inferiores e superiores de especificação, além de uma distribuição normal dos dados.

Oguz et al. (2012) também demonstram ao longo de sua pesquisa a importância e destaque da intensa e extensa análise de dados quantitativos na condução do método do Seis Sigma, possibilitando a redução da variabilidade da produção. Bos, Kemper and Waal (2014) avaliam os dados relativos ao tempo de execução das atividades, coletando-os e tratando-os em um histograma (curva normal), porém sem o objetivo de calcular a capacidade do processo e, posteriormente, o nível sigma dos processos estudados.

O artigo desenvolvido por Al-Aomar (2012) buscou construir uma estrutura de trabalho para a aplicação do LSS na construção civil com um estudo de caso em Abu Dhabi. Para tal, utilizou-se guias desenvolvidos pelo *Lean Construction Institute* (LCI) para a entrega de projetos enxutos com os indicadores do Seis Sigma para análise de dados, trazendo novamente o forte caráter analítico e estatístico para a discussão e resolução de problemas, ainda que suportando o planejamento com foco na redução de desperdícios.

O diferencial da pesquisa de Tchidi He e Li (2012) não apenas se encontra na análise numérica, por meio de elementos finitos, das peças de concreto estudadas, mas principalmente na melhoria do projeto de tais peças, com análises estatísticas por meio do nível sigma, no qual se estuda a diminuição de desperdícios e aumento da qualidade em edificações de sistema estrutural de pré-fabricados na China, esperando era a redução de fissuras em peças de concreto e, por esse meio, o incremento do processo em si. Lee e Su (2013), tem a mesma tendência e abordagem de pesquisa nas quais as análises estatísticas dos problemas relacionados ao produto indicado foram realizadas por meio do auxílio de simulação computacional de elementos finitos. Ambos os artigos citados diferenciam de grande parte dos trabalhos encontrados nessa RSL e sendo um ponto positivo na análise do artigo, visto o baixo uso de modelagem numérica na resolução de problemas encontrados na construção civil.

O método utilizada por Eom, Jang e Kim (2015) seguiu as etapas propostas pelo ciclo de melhoria com as ferramentas condizentes em cada etapa, dando destaque principalmente para a identificação dos pontos considerados como “Y”, sendo esse caracterizados como os pontos críticos para a tomada de decisão em relação aos problemas identificados nos produtos. As atividades “críticas para a qualidade’ foram devidamente estudadas e estatisticamente avaliadas para que soluções fossem propostas direcionadas para fissuras em lajes em concreto armado na Coreia do Sul. Os níveis sigma foram calculados, após intensa coleta de dados, e serviram como parâmetros para a avaliação quantitativa da melhoria e ser implementada. Posteriormente, foram comparados os valores anteriores à aplicação do Seis Sigma com os resultantes do uso do método, sendo que foi concluído e validado por meio de testes de hipótese a importância do modelo de melhoria contínua para o atendimento dos valores requisitados.

d) Desenvolvimento e busca por melhoria contínua

Em um método que tem como um dos fundamentos e premissas a melhoria contínua é necessário o desenvolvimento de técnicas e estudos que permitam o desenvolvimento incremental dos processos e análises, sendo que

essas podem ser estudadas e melhoradas até alcançados os resultados desejados, mesmo que em etapas de experimentação (HAN et al., 2008).

Estudos como o Morales et al. (2016) nos quais são as etapas são claramente divididas de acordo com o ciclo de melhoria contínua reforçam a importância que o Seis Sigma possui quanto à busca pela melhoria contínua. Segundo os autores, a implementação do método contribui essencialmente para o alcance dos resultados de melhoria dos processos pelo aumento da produtividade, como na diminuição de defeitos nos produtos em si. O artigo apresenta relevância para a dissertação, pois, apesar de realizar um estudo em uma planta industrial de pré-moldados, indica a dificuldade da criação de padronizações em atividades relacionadas com a construção civil.

Nishaant, Swethaa e Chris Anto (2018), assim como outros autores e artigos, seguem o ciclo DMAIC como norteador metodológico para a resolução de problemas relacionados com a compressão característica de diversos lotes de concreto industrial, mas principalmente apresentam gráficos de controle como suporte gerencial e estatístico para as decisões posteriormente tomadas. Na mesma linha de entendimento, Bos, Kemper and Waal (2014) apresentam a aplicação do ciclo DMAIC para elencar as principais atividades e diretrizes para o bom desenvolvimento dos projetos, com destaque para o uso do FMEA na etapa de melhoria (*Improve*).

Husin (2019) e Jowwad, Gangha e Indhu (2017) também buscam uma abordagem em relação ao Seis Sigma mais aplicada ao desenvolvimento de projetos com etapas pré-definidas quanto ao desenvolvimento de projetos e análises, a fim de estruturar um trabalho de execução de fundação de edificação.

Seguindo a tendência dos outros artigos, Tchidi, He e Li (2012), Eom, Jang e Kim (2015) e Anderson e Kovach (2014) apresentam uma análise do desenvolvimento do projeto por meio da sequência do DMAIC, com a utilização de ferramentas apropriadas para cada fase em si.

O propósito da pesquisa realizada por Gijo e Sarkar (2013) é demonstrar a realização de um projeto baseado no *Lean Six Sigma* em uma área específica como a instalação de turbinas de energia eólica e suas estradas. Para a melhoria

do projeto em si, escolheu-se seguir e aplicar o ciclo DMAIC que apresenta ferramentas adequadas para a melhor prática de qualidade, além de desenvolvimento sustentável.

Também é possível destacar a pesquisa desenvolvida por Bravo, Euphrosino e Fontanini (2020) que utiliza o ciclo DMAIC como direcionador e manual para a aplicação do Seis Sigma em uma empresa construtora, demonstrando a necessidade da busca por melhoria contínua até mesmo na aplicação de métodos. Pode-se comparar à pesquisa conduzida por Banawi et al. (2020) que também utiliza o ciclo DMAIC como norteador na implementação de um novo método de gerenciamento em empresas construtoras. No entanto, o objetivo dessa pesquisa é alocar os princípios do *Lean Green Six Sigma*, aqui indicados por *LG6*, sendo essa uma estrutura de trabalho pautada na redução de desperdícios, incremento na responsabilidade ambiental e busca intensa pela melhoria contínua.

e) Ferramentas qualitativas para análise de problemas

A utilização de ferramentas da qualidade associadas ao Seis Sigma se torna essenciais na análise de produtos ou processos por tornar mais visual o problema e, conseqüentemente, sua solução. Pesquisas como a de Banawi e Bilec (2014) que integram a análise de um sistema de gestão com foco não apenas do *Lean Six Sigma* como também na abordagem sustentável (*Green*), tendo como objetivo principal o desenvolvimento de uma estrutura de trabalho que busca integrar as três abordagens de gerenciamento na construção civil aumentando a qualidade, reduzindo impacto ambiental e incrementando os processos construtivos, trazem os benefícios da aplicação de tais ferramentas como espinha de peixe, diagrama de Pareto, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), entre outras.

Jowwad, Gangha e Indhu (2017) também apresentam o uso das ferramentas citadas, ainda que a estude a construção de rodovias em Caxemira na Índia.

Os autores Dakhli, Lafhaj e Bos (2016) têm como metodologia principal da pesquisa a utilização do ciclo DMAIC em todas as fases do estudo,

incrementando a análise e busca de resultados com ferramentas consagradas como gráfico de Pareto e diagrama espinha de peixe, assemelhando-se também à pesquisa desenvolvida por Varad e Sekar (2020), na qual os autores avaliam a influência do processo na cura do concreto para obtenção da resistência à compressão e diminuição de defeitos nos serviços de montagem de gesso. Os primeiros autores puderam concluir sobre a intensa necessidade de definir a voz do cliente ao início de qualquer projeto, além de estudos profundos para alcançar a causa raiz dos problemas encontrados, sendo o principal o atraso na entrega dos imóveis.

A pesquisa de Isa e Usmen (2015) foi conduzida inicialmente com a determinação da “Voz do Cliente” por meio de um questionário, que visava entender as requisições imediatas para o alcance da melhoria da qualidade. Em seguida, por meio do FMEA foram elencadas as requisições com maior importância para a melhoria dessas. O mapeamento dos processos também foi conduzido com o objetivo de reduzir e/ou eliminar as atividades geradoras de desperdício.

O Seis Sigma foi utilizado de maneira não convencional na pesquisa de Lee e Su (2013), dado que não foi utilizado explicitamente o ciclo de melhoria contínua DMAIC e as técnicas estatísticas de análise de variabilidade de produtos, mas sim ferramentas de mapeamento de processos, carta do projeto para definição de problemas por meio do uso de causa e efeito, matriz para identificação de variáveis e FMEA para a identificação das causas das fissuras.

O estudo conduzido por Anderson e Kovach (2014) descreve como uma empresa de engenharia civil especializada em processos de solda diminuiu os defeitos em projetos de recuperação. O artigo em questão também utilizou algumas ferramentas importantes como o gráfico de Pareto, o diagrama de espinha de peixe, além do FMEA para a correta conclusão sobre as causas raízes do problema.

Assim como em outros artigos apresentados, o estudo de caso de Gijo e Sarkar (2013) busca utilizar não apenas o método cíclico de melhoria incremental, mas também ferramentas pertinentes em cada fase do ciclo. Pode-se notar a presença do gráfico de Pareto e do diagrama de espinha de peixe, no

entanto cabe destacar o uso do “*gemba*”, que significa “ir ao local onde as coisas acontecem”. Tal prática é interessante devido à necessidade de os projetos serem encarados da maneira mais real possível, devendo ser visitado o local no qual as questões críticas se encontram.

f) Foco no cliente

O artigo escrito por Aldairi, Khan e Munive-Hernandez (2017) desenvolveu uma linha de pesquisa diferente dos demais descrito nessa RSL. Os autores buscavam o desenvolvimento e entendimento de um sistema do LSS baseado no conhecimento do produto e processo condizente com o projeto em destaque. Ainda é interessante apontar o objeto de estudo, sendo esse um sistema de manutenção para edificações sustentáveis, que pode ser entendido como um sistema que alcança a máxima eficiência com o menor custo e impacto, sendo essa eficiência diretamente voltada ao atendimento dos requisitos dos clientes, sendo um dos principais princípios do Seis Sigma na estrutura de trabalho indicada e mesclada com o *lean*.

Dakhli, Lafhaj e Bos (2016) investigam a aplicação do LSS no desenvolvimento do mercado imobiliário francês, tendo como alvo principal da pesquisa o cliente final, que é o comprador do imóvel. A pesquisa ação foi desenvolvida na questão da não satisfação constante de clientes do setor, principalmente devido ao atraso na entrega dos imóveis. A utilização da “voz do cliente” exemplifica bem a necessidade de alinhar as expectativas com o consumidor do produto para a correta aplicação do Seis Sigma.

A intensa demanda por parte dos clientes por produtos de alta qualidade e confiabilidade, alinhada com o aumento da competitividade causada pela globalização, leva a necessidade de revisão da estratégia das empresas construtoras quanto aos processos e produtos em si (VAN DEN BOS; KEMPER; DE WAAL, 2014; VAN DEN BOS et al., 2014; TCHIDI; HE; LI, 2012). Com essa constatação, os autores identificam a necessidade do foco ao cliente nas atividades da construção civil, além de justificar a importância da aplicação de métodos como o Seis Sigma na indústria da construção civil. O processo é melhorado de acordo com a perspectiva do cliente com foco em todos os passos

requisitados para o projeto, produção, entrega e até mesmo manter o produto em si (VAN DEN BOS et al., 2014).

Assim como alguns outros artigos apresentados nessa revisão da literatura, Isa e Usmen (2015) realizaram um estudo de caso com a utilização dos princípios e ferramentas do LSS buscando melhorar as construções das instalações universitárias da universidade onde lecionam – *Wayne State University Detroit* nos EUA. Sendo assim, os clientes (usuários das edificações e instalações) foram o principal foco com a intensão de alavancar a avaliação e, conseqüentemente, o atendimento dos requisitos.

2.5.1 ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS APRESENTADOS NA LITERATURA

Os Quadros 6 e 7 sintetizam os dados previamente apresentados nos tópicos divididos por princípio do Seis Sigma encontrados em artigos relacionados com a construção civil. O Quadro 6 relaciona os temas das pesquisas com a utilização do Seis Sigma e seus respectivos autores.

Quadro 6: Pesquisas na construção civil com aplicação do Seis Sigma

Referência	Tema da Pesquisa	Utilização do Seis Sigma
Pheng e Hui (2004)	Estudo da qualidade de revestimentos internos em edificações por meio do alcance das especificações técnicas	Medição do nível sigma
Han <i>et al.</i> (2008)	Redução do tempo de ciclo das atividades por meio de modelagem computacional	Ciclo <i>DMAIC</i> , medição do nível sigma e aplicação de ferramentas qualitativas
Oguz et al. (2012)	Diminuição das variabilidades na produção de painéis pré-moldados de concreto	Medição do nível sigma e ferramentas qualitativas
Morales et al. (2016)	Aumento da qualidade dos blocos de concreto	Ciclo <i>DMAIC</i> , ferramentas estatísticas e qualitativas
Husin (2019)	Melhoria dos blocos sobre estacas	Ciclo <i>DMAIC</i> , medição do nível sigma e ferramentas estatísticas
Jowwad Gangha e Indhu (2017)	Melhoria na construção de estradas	Ciclo <i>DMAIC</i> e ferramentas qualitativas
Banawi e Bilec (2014)	Aplicação de estrutura de gestão integrando a construção enxuta, construção verde e o Seis Sigma	Ciclo <i>DMAIC</i> e ferramentas qualitativas
Nishaant, Swethaa e Chris Anto (2018)	Melhoria dos produtos provenientes de concretagem	Ciclo <i>DMAIC</i> , ferramentas de controle de processos
Al-Aomar (2012)	Aplicação de estrutura de gestão baseada no Seis Sigma	Ciclo <i>DMAIC</i> e ferramentas qualitativas

Referência	Tema da Pesquisa	Utilização do Seis Sigma
Aldairi, Khan e Munive-Hernandez (2017)	Estrutura de trabalho baseada em conhecimento prévio	Ferramentas qualitativas
Dakhli, Lafhaj e Bos (2016)	Melhoria das construções por meio de análise do mercado imobiliário francês	Ciclo <i>DMAIC</i> e ferramentas qualitativas
Bos, Kemper e Waal (2014)	Melhorias do tempo de execução de atividades na construção civil	Ciclo <i>DMAIC</i> e ferramentas qualitativas
Van den Bos et al. (2014)	Definições genéricas para a implementação do LSS	Ferramentas qualitativas
Tchidi, He e Li (2012)	Redução de fissuras em peças de concreto armado	Ciclo <i>DMAIC</i> , ferramentas qualitativas e medição do nível sigma
Isa e Usmen (2015)	Melhoria das instalações universitárias	Ciclo <i>DMAIC</i> e ferramentas qualitativas
Lee e Su (2013)	Redução de fissuras em divisórias	Ciclo <i>DMAIC</i> , ferramentas qualitativas, simulações computacionais
Eom, Jang e Kim (2015)	Gerenciamento de fissuras em lajes de concreto armado	Ciclo <i>DMAIC</i> , ferramentas qualitativas e cálculo do nível sigma
Anderson e Kovach (2014)	Redução de defeitos no processo de soldagem em obras industriais	Ciclo <i>DMAIC</i> e ferramentas qualitativas
Gijo e Sarkar (2013)	Melhoria nas estradas de instalação para turbinas eólicas	Ciclo <i>DMAIC</i> e ferramentas qualitativas
Ullah et al. (2017)	Investigação do nível de implementação dos projetos Seis Sigma no Paquistão	Revisão da literatura e ferramentas qualitativas
Bravo, Euphrosino e Fontanini (2020)	Uso do ciclo <i>DMAIC</i> como manual de aplicação do gerenciamento da melhoria contínua em empresa construtora	Ciclo <i>DMAIC</i>
Varad e Sekar (2020)	Análise do processo de cura do concreto para obtenção da resistência a compressão e redução de erros nas atividades voltadas ao gesso	Ferramentas qualitativas e ferramentas de controle do processo
Banawi et al. (2020)	Implementação de uma estrutura de trabalho voltado para redução de desperdícios, sustentabilidade e gestão da melhoria contínua	Ciclo <i>DMAIC</i>

Fonte: Autor (2021)

O Quadro 6 apresentado indica uma grande tendência na utilização do ciclo *DMAIC* ao longo das pesquisas. Tal tendência é parte essencial no desenvolvimento dos estudos do Seis Sigma, visto que a aplicação e manutenção de um método fixo de melhoria incremental é de extrema importância para a padronização de processos, além da correta gestão do conhecimento, visando o aprendizado contínuo além de sua melhoria.

Além disso, as ferramentas qualitativas sempre estão presentes na análise dos problemas confrontados na pesquisa, demonstrando que modelos de resolução de problemas bem estruturados podem ser benéficos nas tratativas de projetos da construção civil.

Ainda é importante identificar que ferramentas estatísticas também estão presentes em grande parte dos artigos analisados, confirmando o caráter analítico e estatístico do método Seis Sigma.

O Quadro 7 classifica e destaca quais os princípios do Seis Sigma que cada artigo presente na RSL destaca ao longo do seu texto, possibilitando argumentação teórica sobre o tema:

Quadro 7: Princípios do Seis Sigma na construção civil destacados nos artigos da RSL

Princípio do Seis Sigma aplicado na construção civil	Referências
Envolvimento e comprometimento da liderança	Lee e Su (2013); Pheng e Hui (2004); Han et al. (2008); Bos, Kemper e Waal (2014); Gijo e Sarkar (2013)
Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos	Pheng e Hui (2004); Bos, Kemper e Waal (2014); Isa e Usmen (2015); Anderson e Kovach (2014)
Intensa coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade	Han et al. (2008); Oguz et al. (2012); Bos, Kemper e Waal (2014); Al-Aomar (2012); Tchindi He e Li (2012); Lee e Su (2013); Eom, Jang e Kim (2015)
Desenvolvimento e busca por melhoria contínua	Han et al. (2008); Morales et al. (2016); Nishaant, Swethaa e Chris Anto (2018); Bos, Kemper e Waal (2014); Husin (2019); Jowwad, Ganngaha e Indhu (2017); Tchindi He e Li (2012); Eom, Jang e Kim (2015); Anderson e Kovach (2014); Gijo e Sarkar (2013); Bravo, Euphrosino e Fontanini (2020); Banawi et al. (2020)
Ferramentas qualitativas para a análise de problemas	Banawi e Bilec (2014); Jowwad, Ganngaha e Indhu (2017); Dakhli, Lafhaj e Bos (2016); Isa e Usmen (2015); Lee e Su (2013); Anderson e Kovach (2014); Gijo e Sarkar (2013); Varad e Sekar (2020)
Foco no cliente	Aldairi, Khan e Munive-Hernandez (2017); Dakhli, Lafhaj e Bos (2016); Van Den Bos, Kemper e De Waal (2014); Van Den Bos et al. (2014); Tchindi He e Li (2012); Isa e Usmen (2015)

Fonte: Autor (2021)

Ainda que algumas pesquisas apontem um grande volume de princípios e até mesmo fatores críticos de sucesso na implantação do Seis Sigma em outras indústrias, na construção civil foi possível destacar seis princípios mais

utilizados direta ou indiretamente nos estudos de casos aplicados na indústria da construção, destacados no Quadro 7.

É interessante observar que o Seis Sigma se destaca perante o modelo tradicional de gestão quando analisado na questão do comprometimento da liderança e treinamento dos recursos humanos. Com a evolução dos métodos de gerenciamento, há também a evolução no entendimento da postura e imagem do líder mesmo que em uma empresa construtora, como o responsável por dar suporte aos processos e pessoas, garantindo o bom desenvolvimento de seu produto.

Ainda que a construção civil aplique alguns modelos de melhoria contínua por meio de ciclos bem definidos como o PDCA, entende-se que ainda há uma grande lacuna quanto a sua real aplicação tanto no dia a dia da obra como na resolução de problemas específicos. A coleção de artigos presentes na RSL reafirma a necessidade de aplicação do ciclo de melhoria contínua a fim de planos de resolução pautados em etapas definidas e efetivas.

A intensa coleta de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade dos produtos é apresentada como uma ferramenta científica a fim de fornecer uma visão estatística do processo e dos produtos consequentes desse. É importante e utilizado pelas pesquisas na construção civil buscando uma mudança no método de análise de subprodutos, distanciando-se do método empírico de aprovação.

O foco no cliente é um dos princípios fundamentais do Seis Sigma e é aplicado em grandes proporções nas pesquisas elencadas. Sua importância é baseada no direcionamento da gestão da qualidade para a parte interessada final e o atendimento dos seus requisitos. Também é interessante notar que a indústria da construção aplica pouco o conceito de cliente internos que também é reforçado quando os processos se tornam interdependentes entre si.

2.5.2 ESTRUTURA DE COMPARAÇÃO DO SEIS SIGMA PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

O Quadro 8 a seguir compara os princípios identificados por seis pesquisas com os princípios identificados na Revisão Sistemática da Literatura presente nessa dissertação.

O Quadro mencionado tem como objetivo apresentar quais os princípios do Seis Sigma aplicados em diversas indústrias e diferentes períodos desde os anos 2000. A confecção do quadro comparativo, portanto, subsidia a identificação de quais os princípios que estão sendo aplicados na construção civil mundial, na qual a coluna “Proposta” apresenta, na visão do autor, os princípios identificados na revisão sistemática da literatura.

Desse modo, pode-se visualizar as principais diferenças entre a aplicação do método de gestão da melhoria contínua proposto pela pesquisa na indústria da construção civil e nas demais indústrias. O primeiro passo é, portanto, buscar identificar qual o nível de aplicação dos princípios mais difundidos mundialmente em empresas construtoras nesta pesquisa. Futuramente, pode-se chegar à proposição de inclusão ou desdobramento de mais princípios para um processo de avaliação mais complexo. Com isso espera-se uma aplicação mais ampla do Seis Sigma nas indústrias seriadas e de manufatura e menos voltadas apenas à indústria da construção civil.

Quadro 8: Comparação dos princípios do Seis Sigma

Antony e Banuelas (2002) / Antony e Desai (2009)	Figueiredo (2016)	Trad e Maximiano (2009)	Sreedharan, Sunder e Raju (2018)	Taner (2013)	Ullah et al. (2013)	Proposta
Envolvimento e comprometimento da liderança	Desenvolver líderes	Liderança	Envolvimento e comprometimento da alta liderança	Envolvimento e comprometimento da alta liderança	Envolvimento e comprometimento da alta liderança	Envolvimento e comprometimento da liderança
Habilidades de gerenciamento de projetos		Processo gerencial	Habilidades de gerenciamento de projetos	Habilidades de gerenciamento de projetos	Habilidades de gerenciamento de projetos	
			Programas de incentivo		Gerenciamento de processos	
Mudança cultural	Desenvolver e manter uma filosofia de longo prazo	-	Mudança cultural	Conexão do Seis Sigma à estratégia de negócios	Mudança cultural	-
Conexão do Seis Sigma à estratégia de negócios			Organização aberta		Conexão do Seis Sigma à estratégia de negócios	
			Operações flexíveis	Inovação e inovações tecnológicas	Inovação e inovações tecnológicas	
			Conexão do Seis Sigma à estratégia de negócios		Mudança Cultural	
			Benchmarking		Benchmarking	
Infraestrutura organizacional	-	Projetos	Infraestrutura organizacional	Infraestrutura organizacional	Infraestrutura organizacional	-
		Equipe de Projetos	Trabalho em equipe	Trabalho em equipe	Trabalho em equipe	
		Iniciativas prévias da qualidade				
Treinamento	Desenvolver pessoas e equipes profissionais	Perfil dos <i>Black Belts</i>	Educação e treinamento	Educação e treinamento	Educação e treinamento	Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos
		Treinamento			Empoderamento dos funcionários	

Antony e Banuelas (2002) / Antony e Desai (2009)	Figueiredo (2016)	Trad e Maximiano (2009)	Sreedharan, Sunder e Raju (2018)	Taner (2013)	Ullah et al. (2013)	Proposta
Conexão do Seis Sigma com recursos humanos			Conexão do Seis Sigma com recursos humanos	Conexão do Seis Sigma com recursos humanos	Alocação de recursos	
Seleção e priorização de projetos, revisões e intenso rastreamento de indicadores	Focar na perfeição de produtos, processos e serviços	-	Priorização de projetos	Seleção de projetos	Informações qualitativas	Intensa coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade
	Reduzir variabilidade		Cultura baseada em dados quantitativos		Seleção de projetos	
			Mentalidade de zero defeitos		Acompanhamento de projetos e revisão	
			Medição			
Entendimento do método, ferramentas e técnicas do Seis Sigma	Criar cultura da melhoria contínua	Comunicação e revisão	Comunicação	Visão e planejamento	Visão e planejamento	Desenvolvimento e busca por melhoria contínua
				Comunicação	Comunicação	
Conexão do Seis Sigma com o consumidor	Focar no cliente	-	Conexão do Seis Sigma com o consumidor	Conexão do Seis Sigma com o consumidor	Satisfação do cliente	Foco no cliente
Conexão do Seis Sigma com fornecedores	Desafiar e respeitar a rede de parceiros e fornecedores	-	Conexão do Seis Sigma com fornecedores	Conexão do Seis Sigma com fornecedores	Conexão do Seis Sigma com fornecedores	-
-	Utilizar ferramentas de gerenciamento de processos e qualidade	-	Entendimento de ferramentas e técnicas			Ferramentas qualitativas para a análise de problemas

Fonte: Autor (2021)

Como destacado anteriormente nos objetivos da pesquisa, o estudo pretende identificar quais os princípios do Seis Sigma mais aplicados na construção civil. Foi observado que a literatura traz poucos dados sobre a construção civil brasileira frente ao Seis Sigma, e essa pesquisa visa avaliá-los quanto à possibilidade de aplicação em construtoras do país com o objetivo final de auxiliá-las no desenvolvimento de práticas de melhoria contínua. O processo proposto poderá funcionar propondo ou identificando *bechmarking* do setor.

Deve-se destacar que os princípios propostos por esse autor são aqueles que foram identificados na aplicação de pesquisas ao redor do mundo que se relacionam expressamente com a construção civil. Entretanto, em sua grande maioria, os princípios do Seis Sigma são interessantes de serem aplicados na indústria da construção civil. Porém, tal pesquisa pode ser a próxima etapa de desenvolvimento.

É importante destacar que alguns pontos que não foram claramente aplicados nos artigos com enfoque na construção civil. A mudança cultural na organização, assim como a associação à estratégia de negócios. Isso pode ser um reflexo da cultura tradicional pouco flexível de algumas empresas construtoras, nas quais são encontradas diversas dificuldades na implementação de modelos e mentalidades de gerenciamento mais modernos e com diferentes aspectos. Ainda que seja talvez um dos princípios mais importantes para a aplicação do Seis Sigma, não foi percebido como a mudança cultural poderia contribuir para atingir resultados mais efetivos para as empresas nessa pesquisa.

A infraestrutura organizacional está voltada para a adoção de atividades focadas no gerenciamento da qualidade e melhoria contínua. No entanto, os artigos presentes na RSL apontaram a aplicação do princípio como pontual, utilizado somente quando necessário desenvolver algum processo e/ou produto. Apesar de reconhecer que ainda há muito a ser desenvolvido pela construção civil em sua organização interna quanto a aplicação das melhores práticas de gestão da qualidade e melhoria contínua, essa abordagem também não foi utilizada nessa pesquisa.

A conexão do Seis Sigma com os fornecedores não foi identificada como possível de avaliar pelo caráter volátil das relações de fornecedores na construção. São poucas as construtoras que apresentam uma relação sólida e bem estruturada com os fornecedores, o que pode acabar impactando na qualidade final do produto e do processo. Ainda que seja uma importante melhoria identificada no setor, a pesquisa dessa dissertação não tratou de tal princípio.

Portanto, pode-se entender que a construção civil não aplica integralmente todos os princípios identificados em outras indústrias, sendo que os seis mais utilizados são apresentados nessa pesquisa. Esse resultado de comparação esquemática da literatura demonstra a dificuldade do setor em aplicar métodos que contemplem a gestão da melhoria contínua, podendo indicar que as construtoras ainda se encontram em patamares de gerenciamento anteriores às indústrias de manufatura e seriadas. Ainda assim, é importante entender quais as portas de entrada que podem ser exploradas pela construção civil para o início mais efetivo e amplo da aplicação de métodos como o Seis Sigma para um gerenciamento consolidado dos processos e produtos com visão estratégica para a melhoria contínua.

3. Método de pesquisa

A definição do método de pesquisa mais adequado é parte fundamental no desenvolvimento de qualquer pesquisa científica, visto que é uma abordagem geral para analisar o objeto de estudo, identificando previamente a maneira com que o pesquisador irá estudar o evento. Assim, a definição do método de pesquisa é o estudo do direcionamento e dos recursos utilizados para se fazer ciência, possibilitando conhecer, não somente o produto da pesquisa, mas sim o procedimento em si (MOREIRA; CALEFFE, 2011).

3.1 TIPO, NATUREZA E OBJETO DE ESTUDO

A pesquisa aqui apresentada pode ser considerada inicialmente como uma pesquisa do tipo exploratório-descritivo. Segundo Gil (1999), a pesquisa exploratória busca desenvolver e esclarecer conceitos ainda não totalmente bem definidos em função de estudos posteriores. Dessa forma, para esse autor, tal tipo de estudo tenta a aproximação do conhecimento por parte do pesquisador, com o objetivo de adquirir mais informações sobre o assunto focado. O caráter exploratório é encontrado nessa pesquisa em razão de que a aplicação dos conceitos metodológicos do Seis Sigma na indústria da construção civil brasileira ainda é pouco estudada, possibilitando ainda o desenvolvimento conceitual por parte daqueles que os estudam.

Além disso, ainda segundo Gil (1999), pesquisas descritivas tem como finalidade a descrição de propriedades de dada população ou evento, ou a determinação de relações entre variáveis, o que descreve o grau de aplicação do Seis Sigma medido pelo questionário proposto e sua análise com as características do avaliador e/ou empresa que atua no mercado.

Quanto à natureza da pesquisa, a mesma pode ser considerada como quali-quantitativa, até mesmo em função do objeto de estudo da mesma que é o processo de avaliação do grau de aplicação do Seis Sigma, o qual apresenta

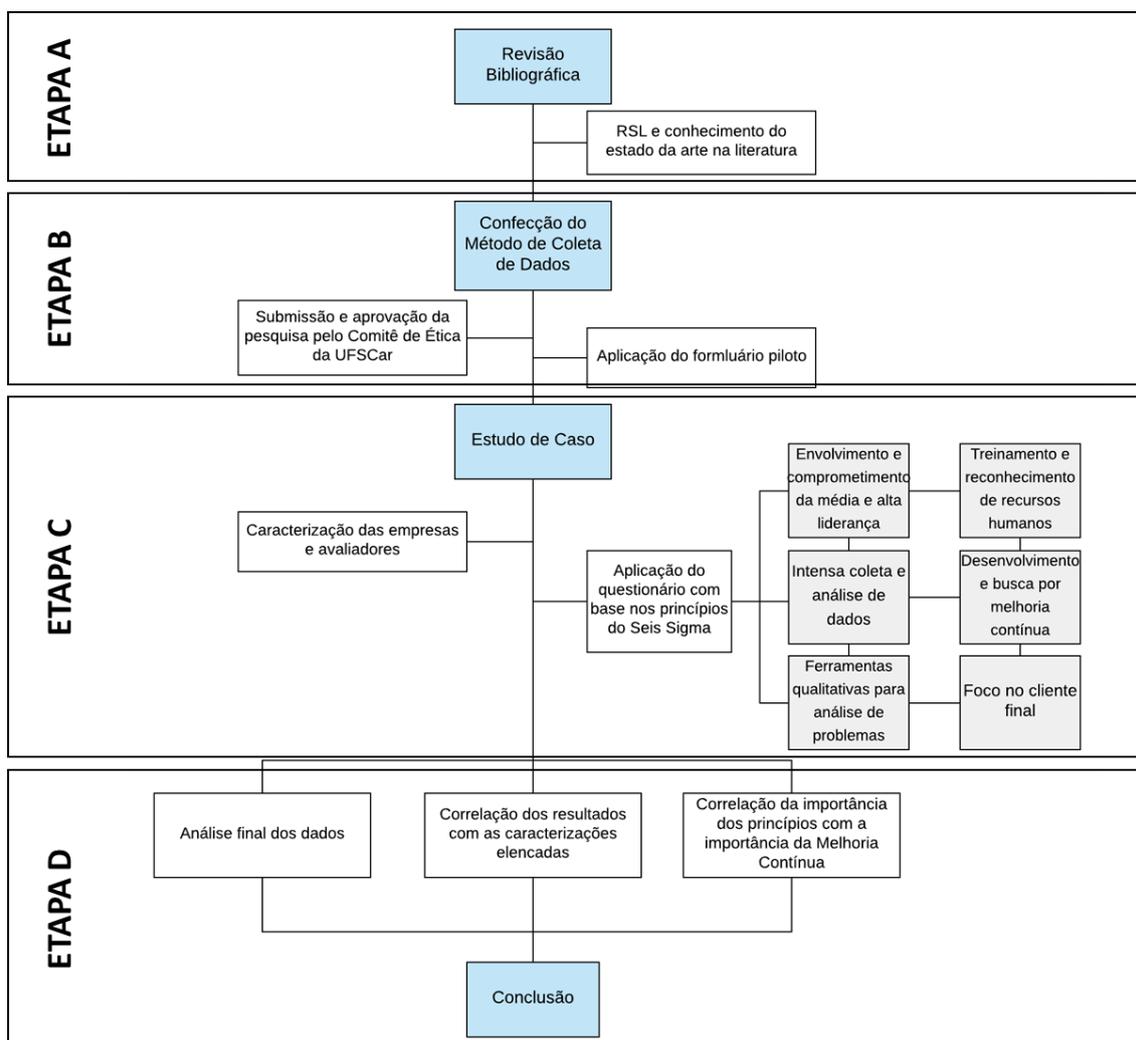
resultados quantitativos em relação respostas do questionário de acordo com cada princípio encontrados em análise sistemática da literatura.

Por fim, em relação ao objeto de estudo a pesquisa relatada tem como objetivo realizar estudo de casos múltiplos. Estudos de caso são pesquisas que perseguem o entendimento de fenômenos e atividades que ocorrem no mundo real, no qual o contexto permite conclusões mais assertivas, buscando sempre a possibilidade de comparação entre resultados em diferentes cenários de aplicação – no caso, entre diferentes empresas construtoras (BARTLETT; VAVRUS, 2017).

3.2 ETAPAS DE ESTUDOS DA PESQUISA

A Figura 13 propõe, por meio de um fluxograma, as interdependências entre as atividades presentes na pesquisa desenvolvida, além de indicar as suas etapas.

Figura 13: Fluxograma das etapas de pesquisa



Fonte: Autor (2021)

Em síntese, o Quadro 9 indica as etapas, seus respectivos procedimentos de pesquisa e as ferramentas utilizadas em cada uma delas. Na sequência, são descritas as etapas de maneira mais detalhada.

Quadro 9: Atividade e abordagens de pesquisa

Etapa	Etapa da Pesquisa	Procedimento de Pesquisa	Estratégia Utilizada
A	Conceitual	Teórica-Conceitual	Revisão Bibliográfica e Revisão Sistemática da Literatura
B	Conceitual	Conceitual	Desenvolvimento de Metodologia
C	Análise dos Dados	Exploratório-descritivo	Estudo de Caso
D	Resultados e comparações	Exploratório-descritivo	Estudo de Caso

Fonte: Autor (2021)

3.2.1 ETAPA A – NIVELAMENTO CONCEITUAL

Essa etapa é baseada pela conceituação teórica, buscando compreender qual o estado teórico presente das pesquisas relacionadas com a qualidade na construção civil. É nesse momento em que se buscou compreender a relação entre a construção no geral, apresentado ou não certos traços do modelo enxuto, e o controle de qualidade das obras, principalmente em relação ao desenvolvimento de novas técnicas de gestão da qualidade, como é a aplicação do Seis Sigma na indústria da construção civil.

Por esse motivo, construiu-se uma Revisão Bibliográfica que tem como objetivo montar evolutivamente os métodos e objetos de estudo dentro do gerenciamento de processos, seja na construção civil ou na indústria de manufatura, a fim de estender cronologicamente quais foram os desenvolvimentos filosóficos e de ferramentas que possibilitaram os estudos atuais do Seis Sigma na construção civil.

Vale indicar que nessa etapa foi realizada a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), na qual, por meio de uma metodologia bem definida de pesquisa, buscou-se compreender o estado da arte publicado por meio de artigos pertinentes e importantes no meio científico.

A síntese da RSL é apresentada no Apêndice A, onde são apresentados os métodos e dados concisos sobre o núcleo do tema estudado na dissertação apresentada, gera base argumentativa para as conclusões e ponderações sobre tal área do conhecimento. Entende-se como essencial a necessidade da realização da Revisão Sistemática da Literatura devido à contextualização da pesquisa de forma a entender por meio de indicadores de tempo, publicações e temas.

3.2.2 ETAPA B – CONFECÇÃO DO MÉTODO DE COLETA DE DADOS

Tal etapa conceitual buscou confeccionar as estratégias de coleta de dados para que os estudos estatísticos fossem corretamente analisados de acordo com os parâmetros indicados pelo Seis Sigma.

Além disso, é nessa etapa que ocorreu o desenvolvimento de um questionário buscando entender o possível grau de aplicação do modelo de

gerenciamento da melhoria contínua apresentado, o Seis Sigma. Foi proposto um questionário composto por duas partes: a primeira parte visa caracterizar os agentes respondentes da pesquisa, contendo dados como formação, cargo, funções desempenhadas, experiências com o sistema de gestão etc., e as instruções para preenchimento da segunda parte. A segunda parte é referente a medição do possível grau de implantação do modelo de gerenciamento da melhoria contínua apresentado, o Seis Sigma.

É importante particularizar que o questionário desenvolvido se caracteriza como o processo de avaliação proposto pela pesquisa em si, o qual permitiu entender o nível de aplicação dos princípios e, conseqüentemente, entender as principais dificuldades de aplicação do Seis Sigma por parte das empresas construtoras brasileiras pesquisadas.

Para que o questionário respeitasse todos os direitos dos avaliadores, a pesquisa passou pela aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Pró-Reitoria de Pesquisa (ProPq) da UFSCar. A submissão inicial teve mínimos ajustes sugeridos pelos pareceristas, sendo que o principal foi a inclusão de uma Carta de Autorização para que a empresa parceira da pesquisa indicasse formalmente que a pesquisa poderia ser conduzida com funcionários internos a elas.

Convém ressaltar que a pesquisa apresentada nessa dissertação passou por duas etapas de confecção do questionário, as quais podem ser entendidas como um estudo piloto e o desenvolvimento do questionário final, sendo que tais etapas são apresentadas nos subitens que seguem.

Sendo assim, o desenvolvimento do questionário foi de suma importância para o andamento da pesquisa, além de possibilitar dados sobre a realidade estudada. Reforça-se que dificilmente as empresas de construção civil aplicavam diretamente e intencionalmente o método do Seis Sigma em seu desenho organizacional e até mesmo no desenvolvimento de projetos. No entanto, foi buscado perceber se algumas atitudes das empresas e/ou funcionários podem aproximá-los da aplicação do Seis Sigma, conforme avaliação dos princípios consultados na literatura.

O desenvolvimento do método de coleta de dados passou por duas etapas, sendo que a primeira se baseou no conhecimento da aplicação atual dos modelos de gestão da qualidade por meio de visitas em canteiros de obra e escritórios de duas empresas construtoras. A segunda etapa teve como objetivo avaliar a construção do questionário piloto junto ao corpo técnico das empresas visando apropriar a experiência tácita na gestão da qualidade.

3.2.2.1 ESTUDO PILOTO

Para o melhor desenvolvimento da pesquisa, foi buscado o entendimento inicial do estado dos gerenciamentos da qualidade em empresas construtoras, de forma a permitir uma análise introdutória do assunto. O estudo piloto foi realizado com base em levantamentos de dados em três obras de unidades habitacionais do programa “Minha Casa, Minha Vida”, sendo que duas pertencem à uma mesma empresa construtora e a terceira obra a uma segunda construtora. Assim, foram visitados três canteiros de obras para que os dados apresentassem uma realidade mais ampla, possibilitando a compreensão mais verosímil do que ocorria em canteiros de obra na região próxima à instituição de pesquisa.

As obras foram escolhidas de acordo com a disponibilidade das empresas para participar da pesquisa, sua relação com a gestão da qualidade e com o caráter construtivo racionalizado de seus produtos finais. Decidiu-se contatar empresas que possuíssem o Nível A concedido pelo PBQP-H e localizadas no interior do estado de São Paulo.

A Gestão da Qualidade é caracterizada pelo uso de ferramentas que possibilitam o desenvolvimento de diversas etapas de estudo, como demonstrado pela revisão bibliográfica. A visita e aplicação do questionário piloto teve como motivação o entendimento das questões do formulário e posterior incremento de tais questões, buscando o afinamento da importância de cada questão.

Além dos questionários, foram levantados outros documentos importantes para o desenvolvimento da pesquisa, como imagens das obras,

acompanhamento das atividades sendo realizadas e documentos sobre a estrutura organizacional e gerencial das empresas e dos canteiros de obras.

Além disso, foi o primeiro contato das equipes de gerenciamento com o questionário de avaliação do grau de aplicação do Seis Sigma no qual foram informadas as etapas de construção do questionário e reforçado que o preenchimento primário deveria ser acompanhado de críticas construtivas buscando o afinamento das questões. Esperava-se obter mais informações que auxiliassem num posterior detalhamento da escala *Likert* utilizada em cada um dos tópicos presentes no documento, mas não foi possível pelo caráter exploratório dessa pesquisa.

O estudo piloto foi conduzido junto a dois colaboradores de cada uma das duas empresas contatadas para que as observações e críticas se concentrassem em poucas pessoas que tivessem condições plenas de avaliar o documento de aplicabilidade e darem o *feedback* para otimização do mesmo.

O Quadro 10 resume as informações das empresas e obras visitadas. Por ter sido um estudo piloto, a etapa da obra não foi considerada como característica essencial para o desenvolvimento do estudo.

Quadro 10: Características das empresas avaliadoras do estudo piloto

Empresa	Sede	Obra		Participantes	Formação
A	Ribeirão Preto	Obra 1	Ribeirão Preto	Analista da Qualidade (AQ-A)	Engenheira Civil
		Obra 2		Analista da Produção (AP – A)	Engenheiro de Produção
B	São Carlos	Obra 3	Ibaté	Coordenadora da Qualidade (CQ – B)	Engenheira Civil
				Engenheira Trainee (ET – B)	Engenheira Civil

Fonte: Autor (2021)

Posteriormente, após reelaboração, os questionários foram retornados para os profissionais e aplicados novamente, a fim de obter dados com maior precisão quantitativa como também qualitativa em relação com os objetivos iniciais da pesquisa aqui apresentada. Tanto a aplicação do formulário piloto quanto a aplicação do final foram realizados com o maior número de integrantes possíveis da equipe de gerenciamento da obra e da qualidade.

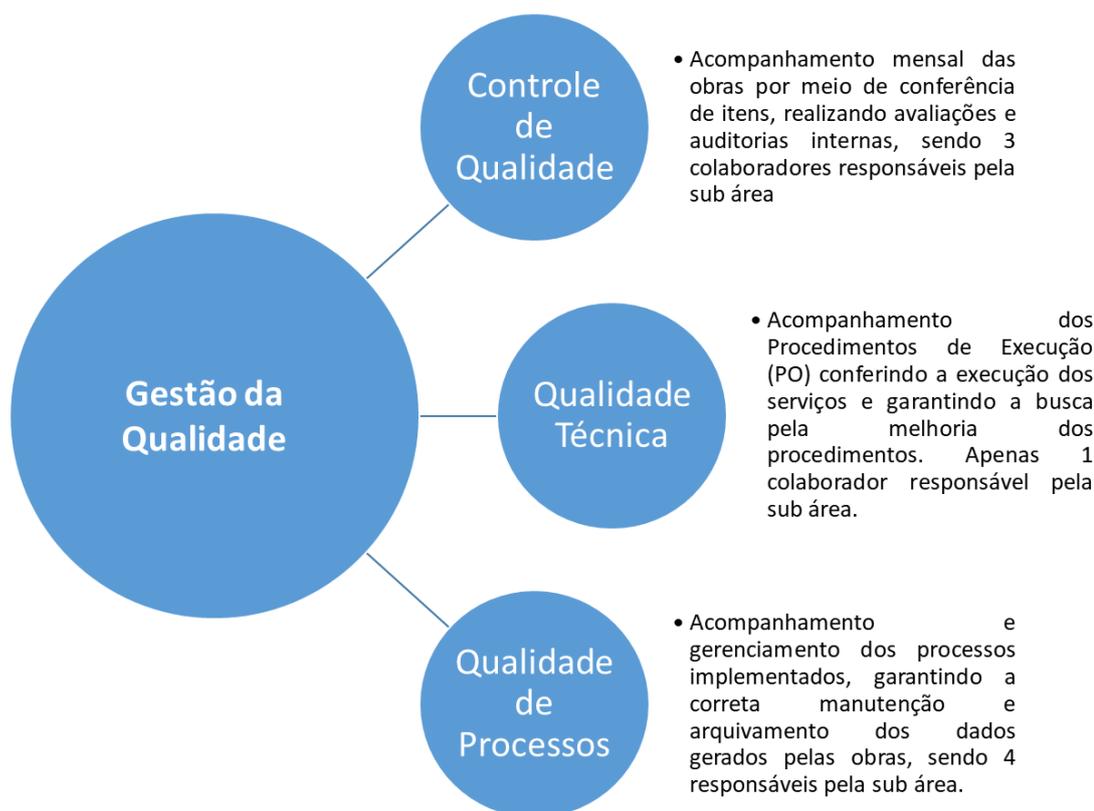
Deve-se indicar que os estudos de caso realizados em campo tiveram caráter avaliativo, a fim de identificar como os pontos elencados no questionário refletiam na realidade dos canteiros de obra e, conseqüentemente, validá-los.

- Empresa A

O estudo piloto contou com uma pequena entrevista com parte da equipe de gerenciamento da qualidade, por meio de perguntas abertas presentes no Apêndice B. Os colaboradores presentes assumem cargos de “Analista da Qualidade” (AQ - A) e “Analista de Processos” (AP - A).

A equipe da qualidade era composta por oito pessoas inseridas na área de gestão da qualidade e divididas entres três principais frentes de trabalho explicitados pela Figura 14:

Figura 14: Organização da equipe de gerenciamento da qualidade



Fonte: Autor (2021)

Desde o início dos questionamentos, indicou-se a necessidade por parte da empresa em reduzir números de retrabalhos. As informações financeiras

quanto ao retrabalho estavam presentes na documentação da empresa, no entanto as informações de retrabalhos em cada equipe de execução não eram transparentes e compatibilizadas com índices internos da empresa, tanto de execução quanto relacionado à equipe de assistência técnica, tornando-se uma meta de melhoria para o ano de 2020.

O setor da qualidade possuía uma política que indicava a ação do time de gerenciamento de qualidade, relacionando a rotina de avaliação da qualidade e indicando o que devia ser auditado, por meio de uma norma a ser seguida. Os documentos gerados pela equipe de qualidade eram um relatório de visita que era preenchido com o banco de dados analisado em obra, o *checklist* da avaliação binária indicando produtos conformes e não conformes e o plano de ação que é gerado para cada desvio.

Os documentos mencionados são produtos de ações da equipe de qualidade que podem ser divididas em três níveis de intervenção. A primeira delas são as visitas, realizadas até três vezes em obra, as quais possuem caráter de orientação, sendo que em tais são conferidos todos os documentos e repassadas as orientações por meio de relatório para que tudo seja corrigido antes da auditoria interna. A auditoria interna, também classificada como avaliação, era realizada em meses ímpares sem aviso prévio. A auditoria interna era realizada apenas por uma pessoa da equipe de qualidade. Todos os dados coletados no dia da auditoria foram considerados como a amostra válida para avaliação de conformidade dos processos e produtos. A obra como um todo deve atingir uma nota mínima de 85%, sendo que caso os indicadores não atinjam a meta alguma porcentagem será descontada no prêmio final da equipe presente na obra. Por fim, há a auditoria do programa PBQP-H que é realizada uma vez a cada seis meses que certifica a obra de acordo com os requisitos correspondentes ao nível A ou B. A Figura 15 busca ilustrar os níveis de avaliação dentro da empresa:

Figura 15: Diferentes níveis de avaliação da qualidade da Empresa A



Fonte: Autor (2021)

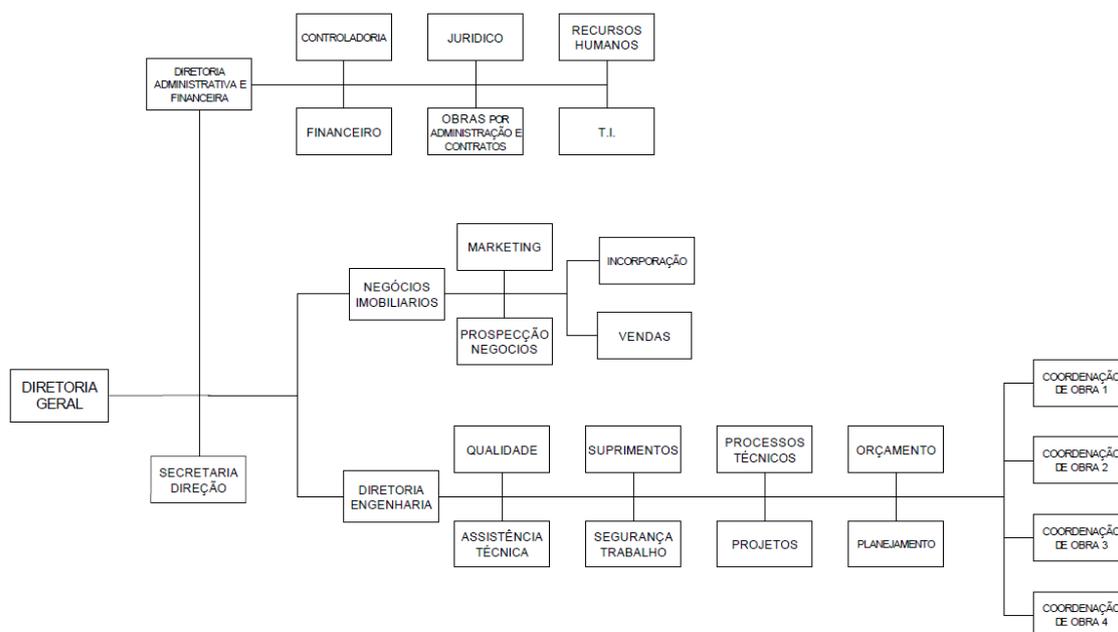
A documentação é realizada por meio de uma intranet e softwares de apresentação de indicadores, visto que a empresa está atuando no preenchimento de Fichas de Verificação de Serviços (FVS) digitalmente por meio de *tablets* no canteiro de obras, beneficiando a transparência de dados e permitindo o acesso de mais rapidamente de mais colaboradores e da empresa aos indicadores da qualidade por meio de quadros resumo (*dashboards*). Além dos FVS, os relatórios em geral também são alocados na intranet possibilitando a centralização de documentos e maior acesso às informações da empresa de acordo com o cargo do colaborador, desde a equipe técnica de uma obra em específico, até mesmo a diretoria responsável pela área. Ainda cabe informar que tal sistema permite a compatibilização de dados e serviços entre gerência, como a da qualidade com a assistência técnica, por exemplo.

- Empresa B

Buscando entender o sistema de gestão da qualidade, decidiu-se conversar primeiramente com a coordenadora de qualidade, buscando um entendimento geral e mais aprofundado do sistema. Além disso, a engenheira trainee da Obra 3 também respondeu algumas questões, visto que seu cargo anterior era relacionado com o gerenciamento da qualidade.

A qualidade está inserida sob a gerência do diretor de engenharia como apresentado na Figura 16. Destaca-se que todas as áreas que respondem à engenharia estão no mesmo nível hierárquico, independentes umas das outras, até mesmo a assistência técnica da gerência da qualidade. Ainda assim, há o mapeamento de todas as anomalias apresentadas pelos clientes em visita prévia à alocação final do cliente com o acompanhamento do engenheiro da obra e um membro da assistência técnica possibilitando a análise posterior em planejamento estratégico por parte da equipe de qualidade. O acompanhamento da assistência técnica é realizado por meio de uma *checklist* que tem como objetivo padronizar as variabilidades encontradas.

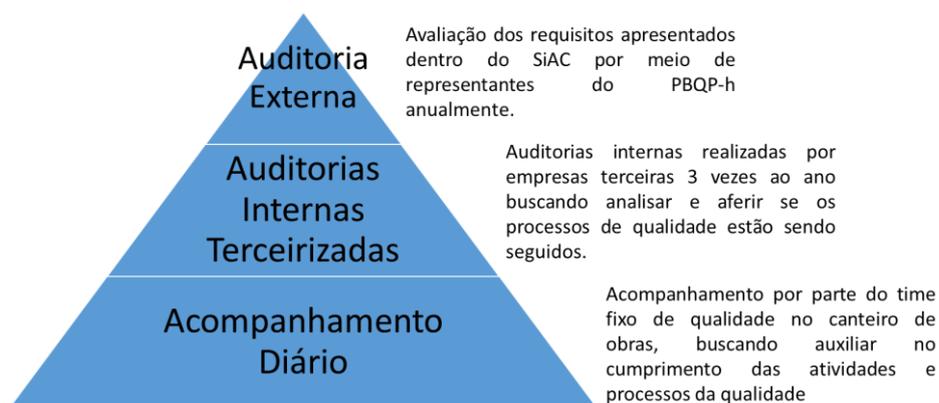
Figura 16: Organograma da Empresa B



Fonte: Adaptado da Empresa B (2020)

Assim como a Empresa A, a Empresa B possui um método de acompanhamento e controle da qualidade que pode ser apresentada por meio de três diferentes níveis, como indicado pela Figura 17. Anteriormente ao controle, cabe indicar que a equipe de qualidade realizava o treinamento com as equipes de execução com auxílio dos Procedimentos de Execução dos Serviços (PES) alinhando e nivelando a maneira e os requisitos desejados na realização de cada atividade, contribuindo para a diminuição de variabilidades nas construções.

Figura 17: Diferentes níveis de avaliação da qualidade da Empresa B



Fonte: Autor (2021)

A própria equipe em obra completava diariamente o sistema online, por meio de Fichas de Verificação de Serviço (FVS) com os indicadores elencados em campo, possibilitando o acompanhamento em tempo real da coordenação e diretoria. Isso ocorre em detrimento do controle diário até da execução dos serviços, levantados dados dimensionais das tarefas. Os indicadores geram um *dashboard* que pode ser visualizado por todo o corpo administrativo da empresa, gerando cobranças ou bonificações.

Deve-se ressaltar que a auditoria interna, nesse caso, era realizada por uma empresa terceira, buscando transparência e imparcialidade no momento da avaliação e cobrança dos requisitos dos sistemas. Essa avaliação apresentada no segundo nível da pirâmide é denominada como “Qualidade Real da Obra” (QRO).

Um dos pontos principais da Empresa B é o objeto denominado “Casa Modelo” que tem como principal objetivo a apresentação do produto ao cliente final em si, colaborando com o nivelamento de expectativas e requisitos destes, ampliando as possibilidades de se atingir a satisfação dos mesmos ao término da construção. Os clientes são convidados a visitarem a obra em um estágio inicial para que conheçam tanto o canteiro de obra quanto o produto que posteriormente será entregue, aumentando a transparência na relação com o cliente externo.

Mensalmente, são realizadas reuniões de acompanhamento com o corpo gerencial de cada obra, nas quais são apresentados os resultados do controle da qualidade de acordo com a tolerância de medição. Quando necessário, as equipes de gerenciamento são cobradas a melhorarem seus resultados baseados em uma nota de nivelamento mínimo pré-estabelecida (nota 7). Essa nota ainda possibilita certo *benchmark* interno da empresa no qual é facilitada a visualização das melhores e piores obras em relação às entregas e indicadores da qualidade.

Todos esses aspectos apresentados estão presentes no Plano de Qualidade da Obra (PQO) que busca elencar os principais pontos a serem conduzidos durante a construção, além de estruturar as equipes de gerenciamento, qualidade, documentação necessárias. Esse documento é elaborado pelo engenheiro responsável da obra e pelo colaborador responsável pela qualidade na obra. Posteriormente, tais colaboradores assumem a responsabilidade de seguir e cumprir o documento citado.

- Desenvolvimento do questionário piloto

Foi nessa etapa que ocorreu o desenvolvimento de um questionário buscando entender a aplicabilidade do modelo de gerenciamento da melhoria contínua apresentado. Sendo assim, o desenvolvimento do questionário foi de suma importância para o andamento da pesquisa, além de possibilitar dados condizentes e confiáveis com a realidade estudada.

Desse modo, o questionário piloto adapta e reflete pontos provenientes dos documentos do SiAC-PBQP-H (2013), como também de embasamentos teóricos captados na literatura. A estruturação básica do questionário também foi baseada na aplicabilidade do ciclo DMAIC ao longo de diversas etapas e componentes de uma obra, tendo como referencial organizador os itens presentes no SiAC: Contexto da Organização, Liderança, Planejamento, Apoio, Execução de Obra, Avaliação de Desempenho e Melhoria. O objetivo principal foi traduzir um programa que possui um método bem consolidado no setor da construção civil (Qualidade) com a necessidade das obras de avançarem no quesito da melhoria contínua por meio de um ciclo mais detalhado, como o caso

do DMAIC. O questionário piloto foi baseado nos itens do SiAC e foram adicionadas questões que abordassem tópicos do ciclo de melhoria contínua.

Cabe indicar que o ciclo DMAIC é comumente aplicado pela literatura em resoluções de problemas pontuais de processos e/ou produtos. No entanto, essa dissertação busca uma nova abordagem do ciclo por meio do entendimento de suas etapas relacionadas com a empresa como um todo. Exemplificando, a fase de definição (*Define*) não representa apenas as atividades desenvolvidas para a definição de um plano de ação para atacar um problema em específico, mas sim para avaliar a capacidade e intensidade da cultura de definição de problemas e parâmetros dentro da empresa ou obra em si.

As questões foram avaliadas por uma escala de *Likert* na qual a pontuação variou entre 1 e 5, sendo que cada valor foi acompanhado de uma descrição qualitativa que auxiliava a correta pontuação para cada levantamento.

Por fim, é importante ressaltar que o estudo piloto também serviu como calibrador da proposta da dissertação. As duas empresas visitadas apresentaram respostas condizentes com as realidades apresentadas nos escritórios e canteiros de obra e, conseqüentemente, validaram, ainda que empiricamente, o questionário que é a proposta da pesquisa.

3.2.2.2 ESTUDO FINAL

Após as análises dos resultados provenientes do estudo piloto, decidiu-se mudar a abordagem do desenvolvimento do questionário, buscando uma confecção pautada na utilização do Seis Sigma pela academia e pelo mercado durante a última década. Portanto, afastando-se de uma organização do questionário antes voltada para o programa de certificação SiAC.

Ainda assim, o estudo piloto subsidiou o desenvolvimento do questionário final, principalmente em relação ao entendimento de sistemas de qualidade em funcionamento dentro de empresas com certo grau de aplicação do gerenciamento da qualidade e até mesmo com certificações voltadas ao tema. No entanto, é importante descrever que o mesmo estudo piloto levou à mudança do método de pesquisa proposto após apresentação para a banca de qualificação. Inicialmente, buscava-se entender a aplicação do *Lean Six Sigma*

como anteriormente descrito, porém, após o entendimento de algumas lacunas teóricas sobre o tema, decidiu-se restringir o tema apenas ao Seis Sigma em si.

A estruturação básica do questionário final é baseada na identificação dos princípios do Seis Sigma aplicados em estudos na construção civil identificados por meio da RSL. A Revisão Sistemática da Literatura buscou encontrar os princípios elencados na literatura em outras indústrias e em atividades da construção civil ao longo da última década (2010-2020). A análise metodológica dessa pesquisa é mais bem detalhada no Apêndice A e o agrupamento temático dos artigos em cada princípio é encontrado no capítulo da revisão bibliográfica. Como explicitado pelos resultados encontrados na revisão, a indústria da construção tende a aplicar seis princípios em maior recorrência de tal modelo de gerenciamento da melhoria contínua além de serem tratados de maneira adaptada, buscando atender à diferente realidade da indústria de manufatura.

Deve-se reforçar que os princípios apresentados não são todos aqueles entendidos como essenciais para a melhoria da construção civil em si, mas sim os princípios aplicados em diversas empresas e pesquisas ao redor do mundo e consolidados na literatura. Pretende-se, portanto, entender o nível de aplicação dos princípios, difundidos em demais indústrias, na construção civil brasileira.

Por ser fundamentado nos princípios do Seis Sigma, o questionário aborda a aplicação das ações entendidas como essenciais para a aplicação dos princípios em si, mas voltadas para as empresas construtoras. As perguntas, portanto, avaliam empiricamente a aplicação do método de melhoria contínua nas empresas construtoras contatadas, por meio da visão e experiência nos processos e realidades das empresas avaliadas. O que é esperado de cada princípio é apresentado a seguir:

- Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança: avaliação da proximidade dos líderes em relação às decisões estratégicas ao longo das etapas de construção, planejamento e retro análise das atividades presentes no canteiro de obra. Apoio da liderança nas tomadas de decisão e desenvolvimento de técnicas de melhoria contínua, ainda que sutis, nas construções;

- Treinamento e reconhecimento de recursos humanos: apoio no desenvolvimento técnico dos funcionários, facilitando o desenvolvimento de melhorias nos processos e produtos, além de garantir o correto e padronizado desenvolvimento das atividades da obra;
- Intensa coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade: esforço por parte da empresa de coletar dados constantemente e tratá-los, buscando entender o desempenho estatístico e os gargalos possíveis de serem incrementados, por meio de decisões assertivas e embasadas matematicamente e gerencialmente;
- Desenvolvimento e busca por melhoria contínua: utilização de ciclos metodológicos como o DMAIC para estruturação das análises das tarefas, além de desenvolvimento de práticas e modelos que prezem pela análise cíclica constante dos processos e atividades;
- Ferramentas qualitativas para análise de problemas: utilização efetiva de ferramentas da qualidade a fim de ilustrar e registrar as dificuldades enfrentadas e estruturas possíveis planos de ação para solução e/ou melhorias nos processos e produtos;
- Foco no cliente final: atividades focadas no atendimento dos requisitos dos clientes internos e externos, visando o atendimento da qualidade em seu estado mais literal.

O desenvolvimento final das questões foi realizado com o auxílio de dois profissionais do mercado que possuem experiência na utilização do Seis Sigma em outras indústrias além da própria indústria da construção civil.

As questões são avaliadas por uma escala de *Likert* na qual a pontuação varia entre 1 e 5, sendo que são descritos os extremos de avaliação (1 e 5) para que o avaliador tenha um norteador quando aplicar uma nota, porém sem enrijecer a interpretação das notas intermediárias com descrições explícitas e únicas. Por ser uma pesquisa em que o conhecimento tácito é de grande importância, isso tem como objetivo não transferir o empirismo do avaliador para os pesquisadores que desenvolveram o questionário, já que ainda não há maturidade suficiente para identificação exata de cada ponto da escala apresentada. Sendo assim, decidiu-se permitir um entendimento mais maleável

das notas centrais da avaliação. O questionário descrito pode ser encontrado no Apêndice C, porém segue um exemplo da escala utilizada por meio do Quadro 11.

Quadro 11: Exemplo do uso da escala no questionário

1.1 Definição por parte da liderança das equipes diretamente ou indiretamente responsáveis ao sistema de gestão da qualidade				
1 - Não há nenhum tipo de definição bem descrita com a relação de cargos e responsabilidades	2	3	4	5 - Há definição clara e pertinente com a descrição e manutenção de todas as responsabilidades

Fonte: Autor

Também foi realizado um outro assunto no questionário que buscou avaliar a relevância dos princípios do Seis Sigma elencados na literatura em relação à importância da aplicação de práticas da melhoria contínua em empresas construtoras. Sendo assim, pede-se que se avalie a importância de cada princípio na aplicação da melhoria contínua com base nos princípios do Seis Sigma e, posteriormente, a importância da melhoria contínua em si. Tal parte do questionário foi apresentada buscando criar uma análise de regressão entre a importância dos princípios estudados e a percepção de importância da melhoria contínua na construção civil. Sendo assim, o resultado busca demonstrar quais os princípios que impactam positivamente a importância da melhoria contínua na construção civil e qual o princípio que mais influencia tal percepção de importância, por meio dos coeficientes correspondentes a cada um deles.

3.2.3 ETAPA C – ESTUDOS DE CASO

O questionário, em sua fase final, foi apresentado a diversas empresas construtoras com características amplas, cerca de 160 empresas em todo o Brasil foram contatadas. a fim de captar um grande leque de dados, possibilitando a caracterização das respostas de acordo com as características das empresas estudadas. Sendo assim, as análises podem ser divididas em diversos grupos da população total, dependendo da característica analisada: idade da empresa, quantidade de funcionários, existência ou não de certificados da qualidade, nicho de atuação na construção civil, entre outras.

As empresas foram contatadas por meio de diversas plataformas online, como e-mail, telefone e LinkedIn® a depender do grau de interação prévio do pesquisador com as companhias. Dentre as mais de 160 empresas contatadas, aproximadamente 25 responderam à aproximação inicial, porém apenas dez deram prosseguimento às etapas da pesquisa.

As dez empresas participantes do estudo atuam em diversos estados do Brasil, sendo que o porte e área de atuação não foram considerados como requisito classificatório da pesquisa. Para facilitar a identificação, as empresas foram nomeadas de “A” a “J”. Deve-se reforçar que as empresas utilizadas para o desenvolvimento do estudo piloto estão entre as dez mencionadas, sendo elas a empresa “A” e a “B” em ambos os estudos.

Após o contato inicial e o aceite informal, as empresas foram informadas da necessidade de oficializarem a parceria de pesquisa por meio de uma carta de autorização assinada por um responsável da empresa. Somente após a formalização citada, o *link* do formulário foi encaminhado para os responsáveis das empresas, via e-mail, divulgarem nas instituições correspondentes, buscando o maior número de avaliadores. Além disso, para que os funcionários também estivessem cobertos quando ao sigilo das informações fornecidas, confeccionou-se o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), sendo esse um documento obrigatório na submissão da pesquisa ao Comitê de Ética de Pesquisa da UFSCar. Tal termo aparecia em anexo ao formulário online por meio de um *link*, na primeira página da descrição, que direcionava o avaliador para um documento salvo no Google Drive®, sendo que esse deveria ser lido integralmente e, posteriormente, responder à primeira pergunta do questionário que se referia ao aceite ou recusa do conteúdo do documento e dos meios éticos da condução da pesquisa. Após aceitarem o conteúdo do TCLE, os avaliadores estavam liberados a prosseguir com as respostas do questionário.

A aplicação do questionário (Apêndice C) foi feita remotamente a distância e teve como motivação verificar o atendimento das questões de acordo com cada aspecto abordado. Foram indicados os seguintes cargos para resposta: (1) responsável pelo setor da qualidade da empresa; (2) responsável pelo setor da qualidade no canteiro de obras; (3) engenheiros/analistas de qualidade; (4)

coordenador de obra; (5) engenheiro de obra; (6) analista de engenharia; (7) estagiário de engenharia/qualidade. A aplicação dos questionários foi realizada com o maior número de integrantes possíveis da equipe de gerenciamento da obra e da qualidade, buscando a maior validade da estrutura de avaliação.

A pluralidade de realidades entre as empresas foi um dos fatores benéficos que a pesquisa apresentou, possibilitando as análises de correlação indicadas na sequência.

No estudo piloto, foi realizada também uma entrevista exploratória para conhecimento da estrutura organizacional da construtora, a fim de verificar *in loco* a apresentação do sistema de qualidade, modelo de gestão da qualidade, procedimentos da equipe da qualidade, preenchimento de formulários e documentação e análise de relatórios. No estudo final, no entanto, buscou-se avançar ainda mais na caracterização, buscando entender as características das empresas avaliadoras e suas respectivas respostas ao questionário. Sendo assim, foram elencadas algumas perguntas como a existência de certificações da qualidade, existência de departamento da qualidade, responsável pela qualidade em cada canteiro de obra, existência de auditorias, modelos de verificação de atividades, armazenamento de controle dos serviços, tratamento dos dados e utilização de sistema de gerenciamento eletrônico da qualidade. Para isso foram elaborados questionários com questões abertas elaboradas pela pesquisa para serem apresentadas aos coordenadores do setor de qualidade em cada construtora em cada uma das etapas descritas (Apêndice C).

3.2.4 ETAPA D – CONCLUSÕES E COMPARAÇÕES

A Etapa D tem como objetivo principal a comparação entre os resultados obtidos nos estudos de caso. Tal etapa busca estabelecer parâmetros em comum entre os diferentes indicativos levantados por meio do questionário.

Além disso, o gerenciamento da qualidade como garantia da realização dos processos e conseqüentemente produtos de acordo com as requisições dos clientes é uma visão ainda mais recente da área, visto que qualidade ainda possui um entendimento mais voltado para a área documental das obras em si.

É interessante complementar que a análise de dados apresentados não é apenas uma etapa metodológica, mas também visa a proposição de análise sistêmica dos resultados, por meio de avaliações estatísticas consolidadas e que possam possibilitar conclusões mais fundamentadas.

Desse modo, os resultados do questionário tiveram diversos níveis de comparação, sendo eles relacionados com as características dos avaliadores (cargo, formação, tempo de experiência etc.) e com a característica das empresas em si (certificados, porte, realização de auditorias etc.).

Com tais dados em mãos, buscou-se concluir sobre não apenas o grau de aplicação do Seis Sigma por meio dos princípios identificados, mas também elencar possíveis variáveis que possam contribuir para as notas alcançadas. Como indicado, as variáveis utilizadas na classificação de diversos grupos de estudo são consideradas como variáveis qualitativas, impossibilitando a correlação de dados por meio de coeficientes de Pearson ou Spearman, visto a necessidade de ser comparadas variáveis contínuas ou discretas (BISHARA; HITTNER, 2012). Por meio desses métodos, foram comparados os princípios e suas questões entre si, buscando analisar qual a correlação quantitativa entre as respostas entre cada princípio, avaliando a semelhança ou diferença entre eles.

A correlação de Pearson, utilizada na análise de correlação com o tempo de experiência dos avaliadores, pode ser descrita pela Equação 5:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Eq. 5}$$

Sendo que, \bar{x} e \bar{y} são as médias aritméticas de ambas as variáveis.

Os valores resultantes da equação apresentada previamente variaram entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo de tais valores extremos, mais clara é a correlação, sendo ela positiva ou negativa. É possível interpretar os valores utilizando-se de intervalos qualitativos. Considerando todos os valores em módulo, pode-se entender que entre 0,90 e 1,00 há uma correlação muito forte; entre 0,70 e 0,90 há uma correlação forte; 0,50 e 0,70 há uma correlação

moderada; 0,30 e 0,50 há uma correlação fraca; e 0,00 a 0,30 não é possível identificar uma correlação (MUKAKA, 2012; HINKLE; WIERSMA; JURIS, 2003).

A análise de variância (ANOVA), com o auxílio do software Minitab® versão 18, foi utilizada para investigar a influência das características qualitativas relacionadas com o avaliador do questionário em si e da empresa construtora ao qual está inserido. O teste mencionado compara e testa a hipótese de que as médias de duas populações ou mais sejam iguais ou diferentes entre si, comparando a média de variáveis de resposta. Por serem analisados sempre grupos com mais de uma população, excluiu-se a possibilidade de utilizar o teste de hipóteses por meio da distribuição t de *student*, visto que o teste por essa maneira compara apenas duas populações.

A ANOVA foi considerada ao nível de 5% de significância (α), e teve como hipótese nula (H_0) a equivalência das médias das avaliações e a não equivalência (de ao menos uma) como hipótese alternativa (H_1). Pela formulação da ANOVA, P-valor (probabilidade P) inferior ao nível de significância (0,05) implica em rejeitar H_0 (pelo menos uma média se difere das demais), aceitando-a em caso contrário (médias equivalentes).

Considerada significativa a ANOVA, o teste de comparações múltiplas de Tukey (teste de contraste de médias) foi utilizado para o agrupamento dos níveis do fator (número de ciclos para cada valor de frequência). No teste de Tukey, A denota o nível do fator com o maior valor médio da avaliação em questão, B o segundo maior valor médio e assim sucessivamente, e letras iguais implicaram em tratamentos com médias estatisticamente equivalentes.

Caso os dados não apresentem normalidade, não é possível utilizar o teste das variâncias (ANOVA) por não ser uma distribuição paramétrica. Nesse caso, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis que também tem como objetivo comparar três ou mais populações e identificar se há ao menos uma diferença significativa entre elas. Quanto utilizado, não é possível realizar o teste de agrupamento de Tukey, desse modo, realizou-se diversos testes pareados entre as populações elencadas para visualizar as diferenças entre as populações.

Avaliou-se também as diferenças significativas entre as diversas populações elencadas nesse trabalho, que as diferenças amostrais devem de alguma maneira ser levadas em conta. Sendo assim, com tais testes garante-se a diferença real dos valores médios caso existir. Ainda assim, mesmo que as comparações não atinjam diferenças significativas, não é implicado automaticamente que tais diferenças não existem, mas sim que uma análise primária pode ser sim realizada em cima dos dados elencados.

É importante ser indicado que os questionários foram validados por meio da utilização do “Alfa de Cronbach”, sendo esse um coeficiente que busca avaliar a confiabilidade de questionários com diversos avaliadores e questões. O coeficiente é definido pela Equação 6:

$$\alpha_c = \frac{K}{K-1} * \left(1 - \frac{\sum x^2 \sigma^2 x}{\sigma^2 y} \right) \quad \text{Eq. 6}$$

Sendo:

K o número de questões;

$\sigma^2 x$ a variância de cada valor relacionado a cada questão na pesquisa;

$\sigma^2 y$ a variância da somatória de cada pontuação atingida por cada avaliador

Segundo Terry e Kelley (2012), tal coeficiente é o mais utilizado ao redor do mundo para garantir a confiabilidade em testes. Os mesmos autores apresentam um breve resumo de suas características encontradas na literatura, sendo elas a apresentação de dados mais conservadores na relação de confiabilidade devido seus baixos limites de tolerância; não requer diversos avaliadores para a aplicação do questionário e, conseqüentemente, do coeficiente; normalmente fácil de ser calculado e computado; e está incluso em diversos softwares construídos.

Autores como Terwee et al. (2007); e Nunnally e Bernstein (1994) indicam que uma boa nota apresentada pelo Alfa de Cronbach é acima de 0,7, atestando a confiabilidade do questionário. Outros autores como Balbinotti e Barbosa (2008) e Streiner (2003) relatam que notas acima de 0,6 são suficientes para atestar a confiança nas questões apresentadas.

Após os devidos tratamentos dos dados por meios das ferramentas estatísticas citadas, foram identificadas mais claramente as relações entre as características elencadas e as notas atribuídas nos questionários, possibilitando a conclusão frente a aplicação do Seis Sigma na construção civil por meio das avaliações empíricas.

Para a análise da importância de cada princípio frente à importância da melhoria contínua na construção civil, decidiu-se utilizar a regressão linear múltipla das notas elencadas pelos avaliadores. A regressão linear é múltipla por se tratar de mais de uma variável a ser analisada dentro do modelo de correlação. Sendo assim, a mesma pode ser identificada pela Equação 7 genérica que segue:

$$Y(\beta) = \alpha + \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_i \quad \text{Eq. 7}$$

Sendo,

α o valor de uma constante qualquer representativa para a regressão encontrada;

β_i o coeficiente angular relacionado com cada uma das variáveis analisadas.

A regressão nada mais é que a dispersão de diversos pontos correlacionados por meio de duas ou mais variáveis e posteriormente ajustados por uma reta. O cálculo do coeficiente de regressão linear é apresentado nas etapas que seguem. Reforça-se que a regressão foi calculada com o auxílio do software Minitab18® e RStudio®.

As etapas, métodos e ferramentas estatísticas apresentados nesse capítulo foram considerados condizentes para o bom andamento da pesquisa e o atendimento dos resultados esperados. A interação entre visitas em canteiro de obra com a confecção de questionário permitiu um amplo alcance de conhecimento não apenas sobre o tema em si, mas também da realidade da gestão da qualidade das empresas estudadas. Além disso, julgou-se fundamental o desenvolvimento da Revisão Sistemática da Literatura que permitiu diversas conclusões sobre o estado da arte do tema tratado e desenvolvimento do questionário final de coleta de dados da pesquisa. Desse

modo, o capítulo a seguir apresenta os resultados do estudo final com as análises estatísticas realizadas e discutidas.

Por fim, a pesquisa visa identificar os ganhos pertinentes à indústria da construção civil que o Seis Sigma pode gerar, avaliando, portanto, o processo proposto como uma maneira de melhorar os modelos de negócios das empresas construtoras do Brasil.

4. Resultados e discussões

4.1 RESULTADOS

4.1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PROFISSIONAIS E EMPRESAS

Novamente, é importante citar que a pesquisa final foi realizada com dez empresas contatadas em diversos estados do Brasil, sendo que o porte e área de atuação não foram considerados como requisito classificatório da pesquisa. Para facilitar a identificação, as empresas foram nomeadas de “A” a “J”. Dentre as dez empresas respondentes, 34 avaliadores responderam às questões. O Quadro 12 apresenta um esquema geral das empresas, seus respectivos avaliadores e os cargos que ocupam.

Quadro 12: Cargos dos avaliadores das empresas

Empresa	Avaliador	Cargo
A	A1	Analista de Produção/Obra
	A2	Analista da Qualidade
	A3	Analista da Qualidade
	A4	Coordenador(a) da Qualidade
	A5	Coordenador(a) da Qualidade
B	B1	Analista da Qualidade
	B2	Engenheiro(a) da Qualidade
	B3	Coordenador(a) da Qualidade
C	C1	Coordenador(a) de Obra
	C2	Engenheiro(a) de Obra
	C3	Diretor(a) de Engenharia
	C4	Diretor(a) de Qualidade
	C5	Engenheiro(a) de Obra
D	D1	Engenheiro(a) de Obra
	D2	Coordenador(a) de Obra
E	E1	Diretor(a) de Engenharia
	E2	Coordenador(a) de Obra
	E3	Engenheiro(a) de Obra
F	F1	Diretor(a) de Engenharia
	F2	Engenheiro(a) de Obra
	F3	Engenheiro(a) de Obra
G	G1	Engenheiro(a) da Qualidade
	G2	Engenheiro(a) de Obra
	G3	Diretor(a) de Qualidade
	G4	Coordenador(a) da Qualidade

Empresa	Avaliador	Cargo
	G5	Diretor(a) de Qualidade
	G6	Diretor(a) de Engenharia
H	H1	Analista de Produção/Obra
	H2	Coordenador(a) de Obra
I	I1	Diretor(a) de Engenharia
J	J1	Analista da Qualidade
	J2	Engenheiro(a) da Qualidade
	J3	Coordenador(a) da Qualidade
	J4	Diretor(a) da Qualidade

Fonte: Autor (2021)

Ainda que os profissionais não sejam em sua totalidade de departamento da qualidade, a pesquisa buscou identificar a percepção da melhoria contínua de funcionários que participam indiretamente do gerenciamento de atividades voltadas à qualidade. Sendo assim, possuir uma heterogeneidade de avaliadores e cargos é importante para que a avaliação não se torne tendenciosa de acordo com a atuação dos profissionais. Além disso, entendeu-se que quanto mais difundida as práticas de melhoria, mais perceptível aos funcionários de todas as áreas serão tais ações e práticas de gestão.

As Tabelas 2 e 3 classificam os avaliadores, sendo que a primeira tem como diretriz os colaboradores de cada empresa, enquanto a segunda organiza as empresas pelas características das mesmas.

Tabela 2: Caracterização dos avaliadores

Características		Valores Absolutos	Valores Percentuais
Gênero	Masculino	23	67,65%
	Feminino	11	32,35%
Formação	Engenheiro(a) Civil	27	79,41%
	Engenheiro(a) de Produção	4	11,76%
	Administrador(a)	2	5,88%
	Técnico(a) em Edificações ou semelhantes	1	2,94%
Cargo Atual	Analista da Qualidade	3	8,82%
	Analista de Produção/Obra	2	5,88%
	Coordenador(a) da Qualidade	3	8,82%
	Coordenador(a) de Obra	5	14,71%
	Diretor(a) de Engenharia	7	20,29%
	Diretor(a) de Qualidade	3	8,82%
	Engenheiro(a) de Qualidade	3	8,82%
Engenheiro(a) de Obra	8	23,53%	
Tempo de Experiência na Área em Anos	Até 5 anos	11	32,35%
	Até 10 anos	10	29,41%
	Até 15 anos	4	11,76%
	Acima de 15 anos	9	26,47%

Fonte: Autor (2021)

Percebeu-se que há uma ampla maioria de avaliadores do gênero masculino, consolidando ainda a realidade de baixa diversidade de gênero na área, ainda que seja um recorte pequeno e aleatório. Em relação às formações, a maioria dos profissionais participantes da pesquisa são graduados em engenharia civil, o que pode ser considerado um ponto positivo, visto que possuem a experiência técnica da área e experimentam as dificuldades que o setor enfrenta, além de entenderem as inovações que ocorreram ao longo dos anos. Os cargos ocupados variaram entre posições técnicas e posições de liderança, possibilitando uma análise ampla e em diversos aspectos da construção civil. Por fim, o tempo de experiência da área em anos também demonstrou uma população variada em relação ao tempo de formação, indicando que as respostas englobaram desde profissionais recém-formados a profissionais com alto grau de experiência.

Tabela 3: Caracterização das empresas

Características	Valores Absolutos	Valores Percentuais
Tamanho da empresa	Micro - Até 9 empregados	1 10,00%
	Pequena - De 10 a 49 empregados	4 40,00%
	Média - De 50 a 99 empregados	3 30,00%
	Grande - Mais de 100 empregados	2 20,00%
Área de Atuação	Obras de edificações residenciais de até 3 pavimentos	5 50,00%
	Obras de edificações residenciais com mais de 3 pavimentos	5 50,00%
	Obras de infraestrutura	2 20,00%
	Obras de edificações comerciais	5 50,00%
	Obras hospitalares	3 30,00%
	Obras industriais	6 60,00%
	Obras de reformas	4 40,00%
Certificado de Qualidade	Nenhum	6 60,00%
	PBQP-H (Nível B)	1 10,00%
	PBQP-H (Nível A)	3 30,00%
	Certificações Ambientais	1 10,00%
	ISO 9001 e/ou correlatas	3 30,00%
Departamento de Qualidade	Sim	3 30,00%
	Não	7 70,00%

Características		Valores Absolutos	Valores Percentuais
Responsável de qualidade na obra	Sim	7	70,00%
	Não	3	30,00%
Realiza Auditorias	Nenhum tipo	5	50,00%
	Auditoria Interna	5	50,00%
	Auditoria Interna realizada por empresa terceira	3	30,00%
	Auditoria Externa	3	30,00%

Fonte: Autor (2021)

A caracterização das empresas identificou uma maior parcela de empresas de pequeno porte, o que é condizente com a população da pesquisa, atuantes em diversas localidades do Brasil. As áreas de atuação das empresas foram as mais diversas, sendo que edificações residenciais, comerciais e obras industriais predominaram nas empresas contatadas. Dentre tais empresas, 70% não possuíam um departamento de qualidade especializado, porém 70% possuíam um profissional locado em obra para a gestão da qualidade. A grande parte dessas empresas não possui nenhuma certificação de qualidade e exatamente a metade não realiza nenhum tipo de auditoria. Mesmo que seja um recorte pequeno da realidade da construção civil brasileira, é uma amostra que em sua caracterização demonstra bem a dificuldade das empresas em realizar o gerenciamento da qualidade em seus canteiros, principalmente quando avaliadas as pequenas construtoras.

4.1.2 RESULTADOS GERAIS

A seguir, são apresentados os resultados de maneira mais ampla, buscando destacar os resultados mais pertinentes por princípio e por empresa, além de serem realizadas análises prévias às correlações dos dados com as características das empresas e/ou profissionais.

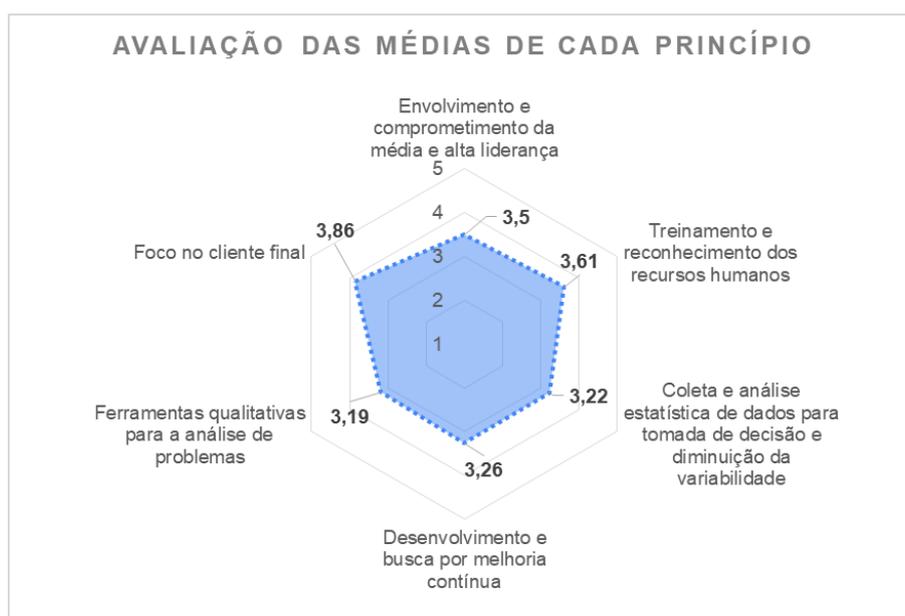
A Tabela 4 pode ser entendida como um resumo das médias de cada princípio, enquanto a Figura 18 apresenta tais dados por meio de um gráfico de radar, ilustrando os principais pontos a serem destacados. Convém lembrar que a nota maior a ser atribuída a cada princípio é até cinco.

Tabela 4: Resumo das notas médias e individuais de cada princípio

Princípio	Sigla	Média	Desvio Padrão	Maior Nota Individual	Menor Nota Individual
Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança	ECL	3,50	1,00	4,80	1,60
Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos	TRH	3,61	0,97	5,00	1,60
Coleta e análise estatística de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade	CAEV	3,22	0,98	4,82	1,36
Desenvolvimento e busca por melhoria contínua	DBMC	3,26	1,14	4,88	1,25
Ferramentas qualitativas para a análise de problemas	FQAP	3,19	1,19	5,00	1,20
Foco no cliente final	FCF	3,86	1,08	5,00	1,25
Total		3,44	0,26	5,00	1,20

Fonte: Autor (2021)

É possível identificar por meio de análises dos dados presentes na Tabela 4 que as notas foram bem distribuídas em cada princípio, demonstrando a heterogeneidade das avaliações. As avaliações de cada princípio e seus itens internos pode ser conferida no Apêndice E, no qual são apresentados os desvios padrão de cada item e, principalmente, o Alfa de Cronbach dos itens e princípios em si, demonstrando a confiabilidade dos dados.

Figura 18: Avaliação médias dos princípios do Seis Sigma

Fonte: Autor (2021)

Conforme Figura 18, o atendimento aos princípios mostrou-se muito equilibrados em suas notas, principalmente visto que tal análise considerou as respostas de todos os avaliadores, sem qualquer classificação entre as características dos avaliadores ou das empresas. De qualquer modo, cabe analisar que o princípio mais valorizado pelas empresas foi o “Foco no cliente final” com uma nota de 3,86, demonstrando que, ainda que não estruturado em sua totalidade, as empresas buscam atender aos requisitos levantados pelos clientes e entregar produtos e serviços que agregam valor ao cliente final. Isso demonstra também a importância do constante desenvolvimento de suas atividades com o objetivo de satisfazer os clientes e/ou usuários e não apenas os interesses internos das empresas. No entanto, deve-se indicar que, por ser uma pesquisa com uma população amostral restrita, as empresas podem estar reproduzindo os desejos de querer alcançar as notas referentes ao atendimento dos requisitos dos clientes. Ainda assim, é importante observar que a média apresentada é decorrente das respostas concedidas no questionário pelos profissionais das empresas.

O princípio “Ferramentas Qualitativas para a análise de problemas” apresentou a menor nota – 3,19 – dentre os seis princípios avaliados. Essa avaliação confirma um resultado esperado, visto que a maioria das empresas atuantes na construção civil pouco utiliza as ferramentas da qualidade para a resolução de problemas, principalmente nos canteiros de obra. Percebeu-se, portanto, a possibilidade de melhoria em tal nicho do gerenciamento da qualidade e melhoria contínua na construção civil, com a aplicação de ferramentas que possibilitem o real incremento das atividades no cotidiano da obra.

4.1.3 COMPARAÇÕES ENTRE EMPRESAS

A comparação entre as empresas é apresentada de duas maneiras distintas. Primeiramente, apresentam-se as notas e suas caracterizações por meio dos Quadros 13 e 14, que foram divididos para melhor apresentação, trazendo comparações entre as empresas, além de indicar a média, maiores e menores notas.

Os títulos das colunas são apresentados por meio de siglas explicitadas a seguir para melhor apresentação física dos quadros:

- Obras de edificações residenciais de até 3 pavimentos – Res. 3;
- Obras de edificações residenciais com mais de 3 pavimentos – Res. 3+;
- Obras de reformas – Ref.;
- Obras de infraestrutura – Infra.;
- Obras de edificações comerciais – Com.;
- Obras hospitalares – Hosp.;
- Obras industriais – Ind.;
- Nenhum/Nenhuma – N/A;
- Certificações Ambientais – CA;
- Existência de Departamento de Qualidade – DQual.;
- Responsável pela qualidade por obra – Res. Qual.;
- Auditoria Interna – A. Int.;
- Auditoria Interna realizada por empresa terceira – A. Int. Ter.;
- Auditoria Externa – A. Ext.;
- Tratamento de Dados – T. Dados;
- Sistema eletrônico de gestão da qualidade – SEGQ.

Quadro 13: Caracterização das empresas

Empresa	Tamanho da Empresa	Área de Atuação da Empresa							Certificado de Qualidade				
		Res. 3	Res. 3+	Ref.	Infra.	Com.	Hosp.	Ind.	N/A	PBQP-H (Nível B)	PBQP-H (Nível A)	ISO 9001 e/ou correlatas	CA
A	Grande	X	X								X	X	
B	Média	X	X								X	X	
C	Pequena	X	X	X						X			
D	Pequena				X				X				
E	Média	X		X		X	X	X	X				
F	Pequena					X		X	X				
G	Grande		X		X	X	X	X			X	X	X
H	Média							X	X				
I	Pequena			X		X	X	X	X				
J	Micro	X	X	X		X		X	X				

Fonte: Autor (2021)

Quadro 14: Caracterização e nota das empresas

Empresa	Tamanho da Empresa	DQual.	Res. Qual.	Auditoria				FVS	T. Dados	SEGQ	Notas		
				N/A	A. Int.	A. Int. Ter.	A. Ext.				Média	Maior	Menor
A	Grande	Sim	Sim		X	X	X	Sim	Sim	Sim	3,74	4,18 - FCF	3,35 - CAEV
B	Média	Sim	Sim		X	X	X	Sim	Sim	Sim	4,14	4,58 - FCF	3,20 - TRH
C	Pequena	Não	Não	X				Não	Não	Não	2,71	3,78 - FCF	1,68 - FQAP
D	Pequena	Não	Sim	X				Não	Não	Não	3,42	4,80 - ECL	2,91 - CAEV
E	Média	Não	Não	X				Sim	Não	Não	4,06	5,00 - FCF	3,53 - FQAP
F	Pequena	Não	Não	X				Não	Não	Não	1,65	2,27 - TRH	1,33 - FQAP
G	Grande	Sim	Sim		X	X	X	Sim	Sim	Não	4,32	4,47 - TRH	4,02 - CAEV
H	Média	Não	Não		X			Não	Não	Não	2,30	2,90 - ECL	1,50 - DBMC
I	Pequena	Não	Sim		X			Sim	Não	Não	3,41	4,00 - FQAP	3,00 - FCF
J	Micro	Não	Sim	X				Sim	Sim	Não	3,89	4,41 - FCF	3,50 - DBMC

Fonte: Autor (2021)

Os Quadros 13 e 14 apresentam uma correlação inicial entre as características das empresas e os valores encontrados na avaliação do questionário. São apresentadas as características que não foram consideradas de extrema relevância para a correlação estatística. Constatou-se que apenas 60% das empresas avaliadoras utilizavam a Ficha de Verificação de Serviços (FVS) para o controle e padronização de suas atividades, sendo que a maioria das empresas que não utilizavam eram de pequeno e médio porte. Isso demonstrou claramente uma oportunidade de melhoria para a verificação dos produtos e processos de pequenas empresas que visam o desenvolvimento da qualidade e melhoria contínua em suas atividades. A inclusão do FVS no controle da produção pode ser considerada uma tarefa simples e que possibilita o início do gerenciamento mais robusto das atividades e até mesmo a garantia do atendimento dos requisitos dos clientes.

Percebeu-se que, como apresentado anteriormente, a maior nota foi sobre “Foco no Cliente Final” em cinco dentre as dez empresas pesquisadas. Novamente, essa constatação traz como ponto positivo a maior busca pelo interesse dos clientes finais durante as etapas de planejamento e execução, afastando-se um pouco da concepção tradicional de atendimento apenas dos requisitos internos das atividades como maneira de atingir os “padrões de qualidade”.

Como ponto negativo, em questão de quantidade de empresas que apresentaram uma nota considerada mais baixa em relação aos demais princípios, pode-se destacar tanto “Ferramentas Qualitativas para Análise de Problemas” quanto “Coleta e Análise Estatística de Dados para Tomada de Decisão e Diminuição da Variabilidade” com três empresas com pontuações baixas em cada. Isso é considerado um dado preocupante, visto que a utilização de ferramentas é essencial para o desenvolvimento e melhor visualização dos pontos passíveis de melhoria, além de criar certa rotina no desenvolvimento de planos de ação para a resolução de problemas, por meio de métodos exaustivamente testadas. As ferramentas, portanto, podem ser entendidas como uma constante retroalimentação dos processos do produto, sendo úteis como base de análise das possibilidades de melhoria e identificação prática dos

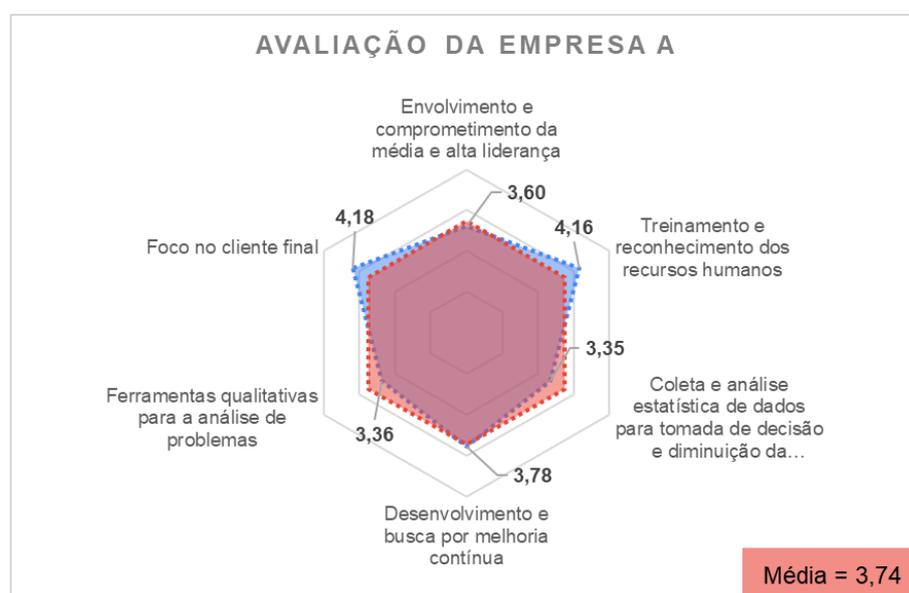
gargalos a serem incrementados. Além disso, uma coleta de dados restrita e sua consequente baixa análise pelas empresas impossibilita a real visibilidade dos problemas e acarreta uma gestão sem indicadores próximos da realidade. Isso pode gerar variabilidade não apenas nos processos, como também nos produtos provenientes desses. Diminuir a variabilidade na construção civil passa por uma das etapas ainda mais básicas de controle de processos e, conseqüentemente, de qualidade: a padronização de atividades. Quanto mais padronizadas as atividades, maior o foco no treinamento e maior a possibilidade de identificar os desvios do processo, portanto, a variação desses. Em seqüência, pode-se pensar no controle efetivo dos limites de especificação dos produtos e seus processos e, a partir de seu desenvolvimento e melhoria contínua, a diminuição das lacunas entre a meta e desvios permitidos.

O tratamento estatístico de dados por meio de avaliações menos triviais e que buscam enriquecer as decisões gerenciais também é outro ponto interessante a ser avaliado. Cerca de 60% das empresas não o realizava e as que assim o faziam, 40%, apresentaram-se como de porte grande ou médio. Inclusive, observou-se que esse grupo foi o que apresentou as maiores notas gerais. Ainda assim, o número de empresas que levantaram os indicadores quantitativos de seus produtos parciais e/ou finais foi considerado como extremamente baixo, indicando que o gerenciamento embasado dos dados ainda é uma realidade um tanto quanto distante da construção civil. É importante destacar que para a implantação de um método como o Seis Sigma, que tanto preza pela diminuição de variabilidades, é vital que tais variabilidades sejam levantadas e analisadas nas obras, entendendo as oportunidades de melhoria e eliminando os gargalos de produção.

Por fim, percebeu-se que o número de empresas que aplicavam o sistema eletrônico de gerenciamento da qualidade era ainda menor (20%). Isso, novamente, influenciou na pontuação do princípio relacionado com o levantamento e tratamento estatístico de dados. Foi entendido que na ausência de uma plataforma digital de armazenamento, dificilmente haverá um tratamento estatístico de dados bem consolidado e metodológico a fim de apresentar indicadores de produção que possam efetivamente melhorar as construções.

As Figuras 19 a 28 apresentam por meio de gráficos de radares as notas de cada empresa e, em conjunto com os quadros anteriores, podem embasar as análises das notas alcançadas por cada empresa e suas caracterizações. Deve-se destacar que em cada figura há duas regiões preenchidas: uma em azul que indica as notas de cada princípio alcançadas pela empresa correspondente e uma em vermelho, a qual distribui em todos os princípios a nota média alcançada pela empresa correspondente. Isso é realizado para entender se a empresa possui notas distribuídas de maneira mais homogênea ou com picos que se diferenciam em grandes valores da média em si.

Figura 19: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa A – Grande Porte

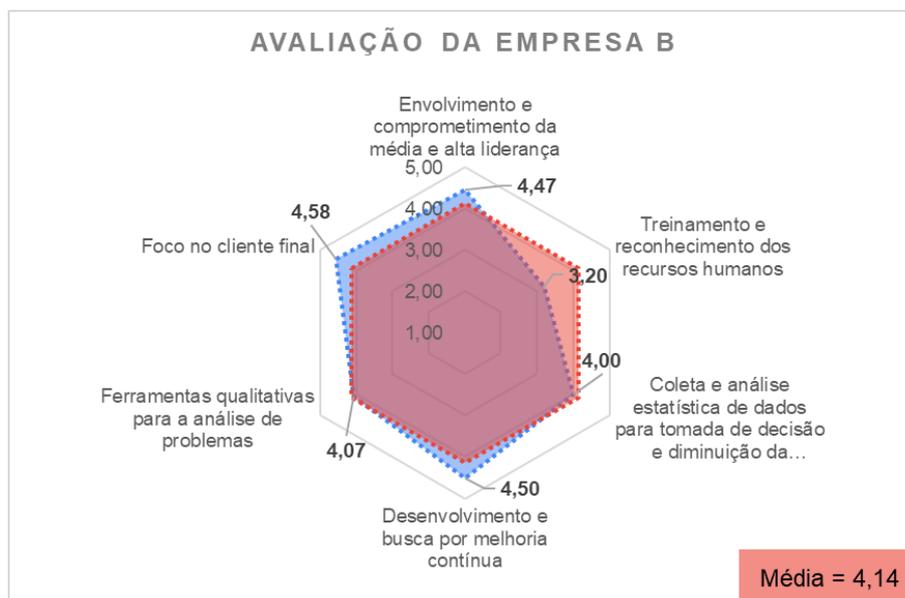


Fonte: Autor (2021)

A Empresa A, participante do estudo piloto, apresentou sua maior nota no “Foco no cliente final” (4,18) indicando que a empresa tem como foco atender aos requisitos dos clientes. Por ser uma empresa de grande porte, pode-se entender que a mesma possui estrutura suficiente para avaliação de empreendimentos passados visando o atendimento dos requisitos dos clientes. Como pior nota, no entanto, apresentou a “Coleta e análise estatística de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade” (3,35), o que indicou que as decisões estratégicas ainda não eram tomadas com base em dados coletados no canteiro de obras e posteriormente tratados para entender quais as oportunidades de melhoria da empresa. Os dados dessa empresa foram

condizentes com a realidade constatada nos canteiros de obra no estudo piloto, corroborando inicialmente com a calibração da proposta aqui apresentada.

Figura 20: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa B – Médio Porte



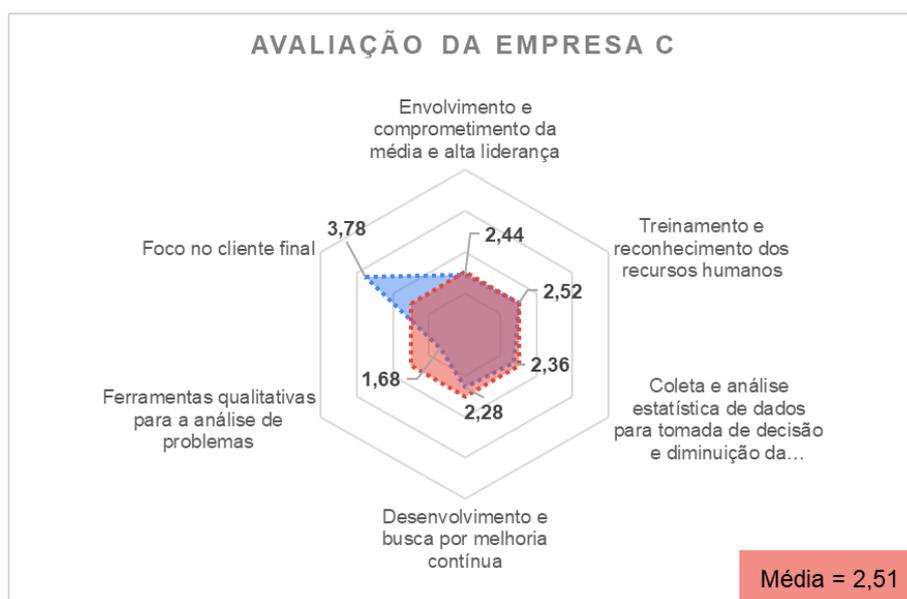
Fonte: Autor (2021)

A Empresa B, também participante do estudo piloto, apresentou como maior nota o mesmo princípio da anterior, “Foco no cliente final” (4,58), no entanto, como menor nota foi constatado o “Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos”. Esse ponto indicou que a empresa poderia investir mais no desenvolvimento de seus funcionários, visto que eram eles os responsáveis pelo controle e realização dos processos. Além disso, observou-se com isso a possibilidade de melhoria contínua dos produtos, seja por meio de programas estruturados como o Seis Sigma ou com aproximações mais tradicionais, por meio de treinamentos durante o andamento da obra. A nota relacionada ao treinamento pode ser também um reflexo da intensa terceirização de serviços pela construtora, o que pode tê-la afastado da possibilidade de garantir o desenvolvimento profissional dos operários. Como consequência, o treinamento poderia também garantir a padronização e alcance da qualidade em seus produtos.

Mesmo que a Empresa B tenha um porte menor que a Empresa A, sua média é mais elevada que a anterior e isso pode ser constatado *in loco*, tanto

em canteiros de obras quanto no escritório da empresa. A organização dos procedimentos foi evidente durante o estudo piloto e entendeu-se como decorrente do desenvolvimento de práticas voltadas à gestão da qualidade e melhoria contínua em todas as hierarquias da empresa.

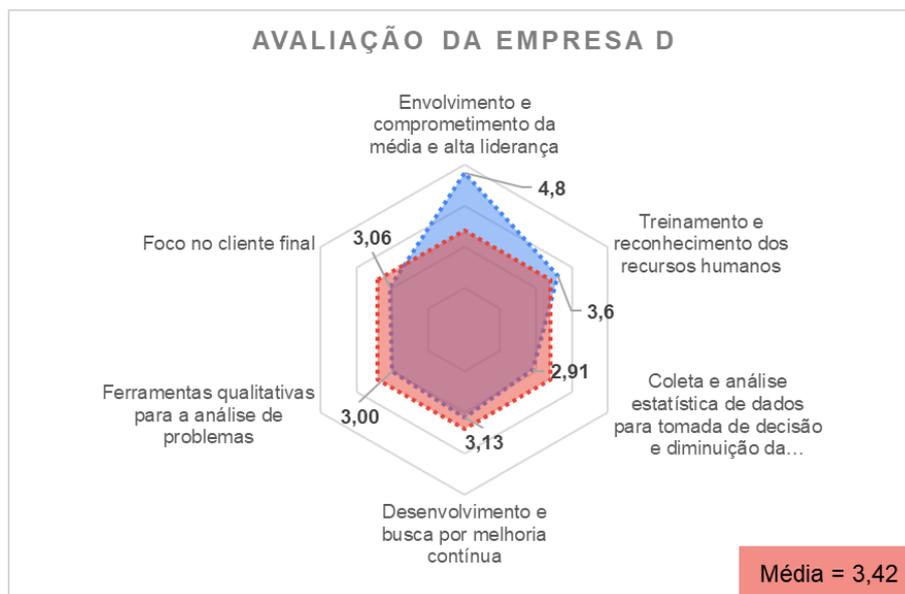
Figura 21: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa C – Pequeno Porte



Fonte: Autor (2021)

A Empresa C repetiu o princípio com maior nota das empresas citadas anteriormente com “Foco no cliente final” (3,78). Em relação à menor nota, foi decorrente do baixo grau de aplicação de “Ferramentas qualitativas para análise de problemas” (1,68), o que indicou que a construtora em questão não possuía a prática de utilizar ferramentas da qualidade e fim de identificar os gargalos de sua produção. Além disso, a área do gráfico de radar apresentada demonstrou um menor atendimento aos princípios elencados de maneira geral, sendo que a maioria das notas médias ficou abaixo da escala 3,00.

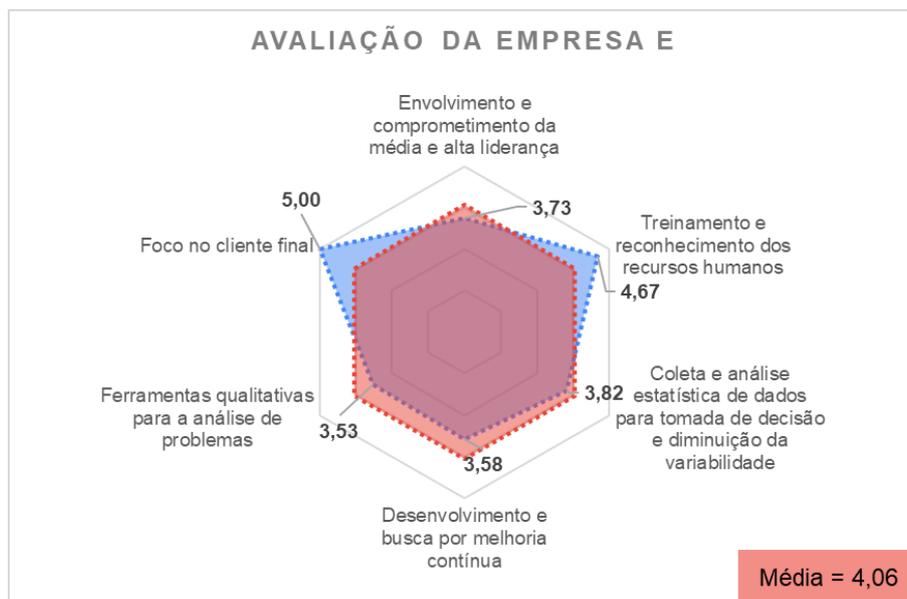
Figura 22: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa D – Pequeno Porte



Fonte: Autor (2021)

A Empresa D se diferencia das anteriores e apresenta como maior nota o “Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança” (4,80) o que pode refletir que a empresa possui uma intensa e próxima atuação da liderança nas decisões. Isso também pode ser interpretado como a constante participação da liderança em todas as etapas dos empreendimentos devido ao seu pequeno porte, sendo que empresas semelhantes de porte tendem a ter mais intensa participação da liderança por serem também os proprietários ou administradores das construtoras. Como nota mais baixa, apresentou o princípio de “Coleta e análise estatística de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade” (2,91). Esse resultado era esperado de certa forma devido ao menor número de profissionais atuantes na empresa, o que dificulta a implantação de um sistema consolidado de coleta e análise de dados da produção.

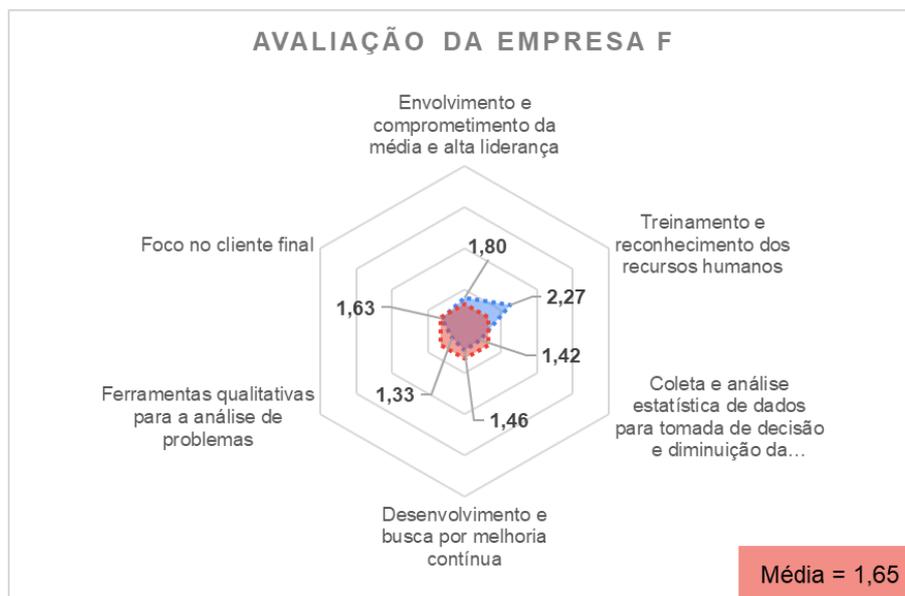
Figura 23: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa E – Médio Porte



Fonte: Autor (2021)

A Empresa E repetiu resultados apresentado na análise das demais empresas, sendo o princípio com a maior nota o “Foco no cliente final” (5,00) e “Ferramentas qualitativas para análise de problemas” com a menor nota (3,53). Ainda assim, é visível que a área representada pelo gráfico de radar demonstrou que a empresa possuía um maior atendimento aos princípios como um todo, visto que todas as médias estavam acima de 3,50. Outra análise que pode ser feita é que a nota referente ao cliente final ser tão alta é devida ao baixo número de respostas da empresa, o que pode ter direcionado a nota final.

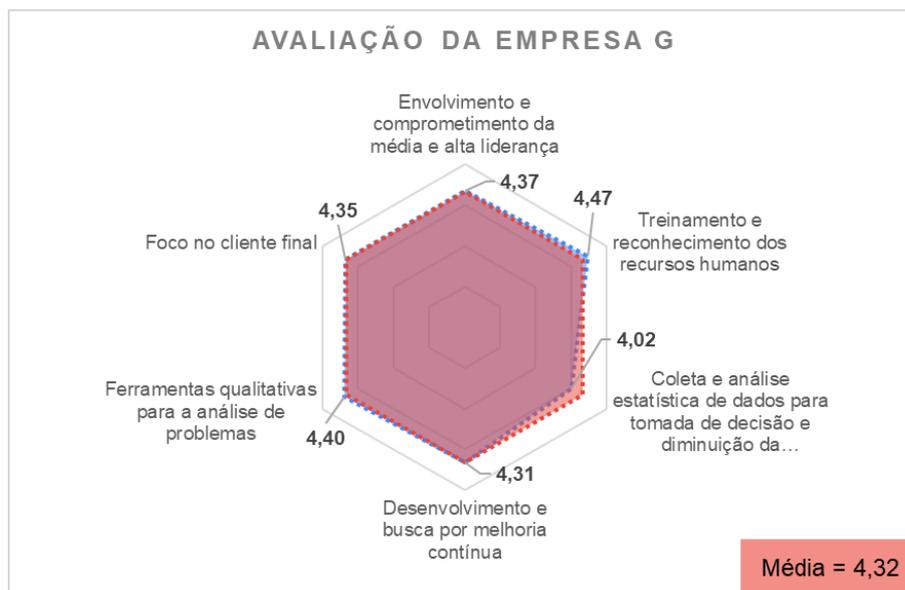
Figura 24: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa F – Pequeno Porte



Fonte: Autor (2021)

A Empresa F apresentou a menor nota dentre as dez avaliadas. A primeira impressão ao analisar a Figura 24 é que existe uma pequena área coberta pelo gráfico, indicando uma homogeneidade de respostas com médias baixas em todos os princípios. Ainda assim, o princípio com a menor nota foi “Ferramentas qualitativas para análise de problemas” (1,33), enquanto que “Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos” apontou com a maior nota (2,27), indicando que a empresa concentra suas ações no treinamento de sua equipe para a correta realização de suas tarefas. Ainda assim, a realização do treinamento e reconhecimento do corpo gerencial e técnico pode ocorrer devido ao número baixo de funcionários, facilitando o alcance de tal nota.

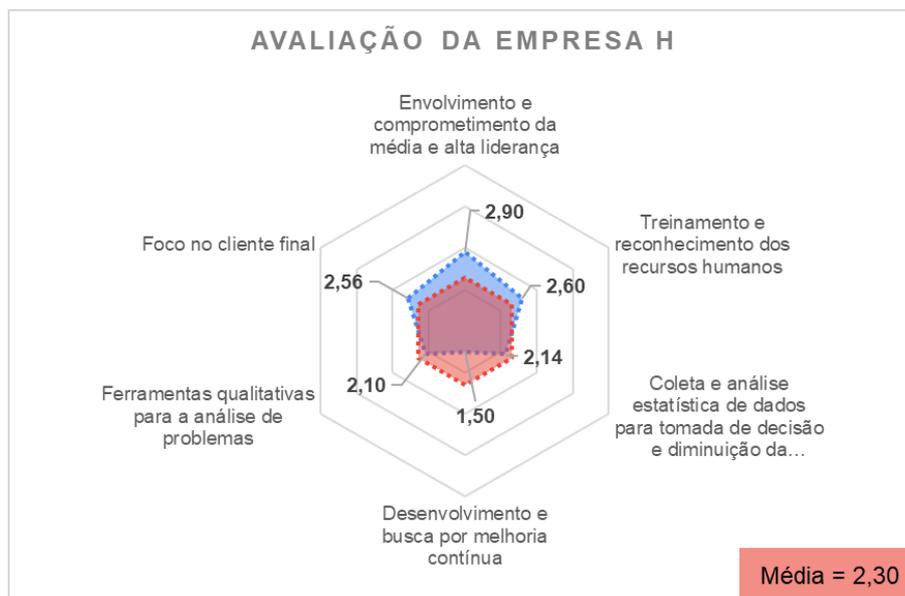
Figura 25: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa G – Grande Porte



Fonte: Autor (2021)

A Empresa G apresentou a maior cobertura de área no gráfico de radar conforme Figura 26, indicando proximidade de todos os princípios à nota máxima e sendo que as médias pontuaram acima de 4,00. De qualquer maneira, o maior princípio alcançado foi “Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos” (4,47) e o menor “Coleta e análise estatística de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade” (4,02), que mesmo apresentando tal pontuação foi considerada atendido, principalmente em relação com as demais empresas. Essa empresa se caracteriza por ser de grande porte e apresentou uma estrutura robusta em relação ao cenário nacional de empresas construtoras. Pode-se indicar que o gerenciamento da qualidade e conseqüente possibilidade de aplicação dos princípios do Seis Sigma são quase intrínsecos ao processo construtivo da empresa. Desse modo, tal empresa poderia ser avaliada como o *benchmark* das demais em relação aos parâmetros estudados.

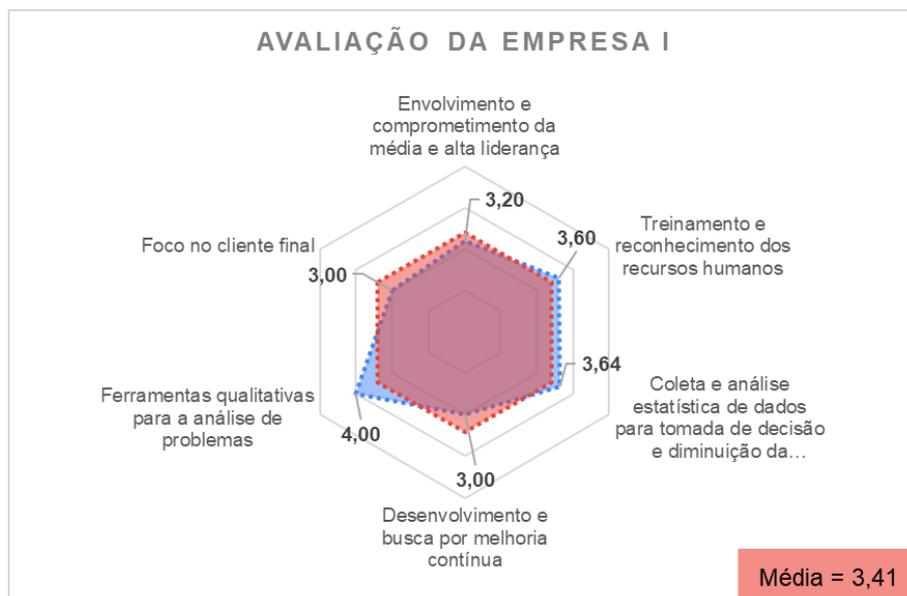
Figura 26: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa H – Médio Porte



Fonte: Autor (2021)

A Empresa H também apresentou notas baixas em grande parte das avaliações, todas abaixo de 3,00, sendo que “Desenvolvimento e busca por melhoria contínua” despontou negativamente (1,50). Isso pode ser inferido devido ao fato de que a empresa em questão pouco aplica métodos cíclicos de análise e resolução de problemas nos canteiros de obra. Positivamente para a empresa, indicou-se o princípio voltado ao “Envolvimento e comprometimento de média e alta liderança” (2,90). No entanto, é interessante observar que a avaliação mais positiva referente à atuação da liderança não necessariamente refletiu na busca por melhoria contínua nos processos. Desse modo, pode-se reforçar a necessidade da liderança de apoiar as decisões focadas na melhoria contínua como caráter estratégico para a empresa suportando, conseqüentemente, os demais princípios com o mesmo objetivo.

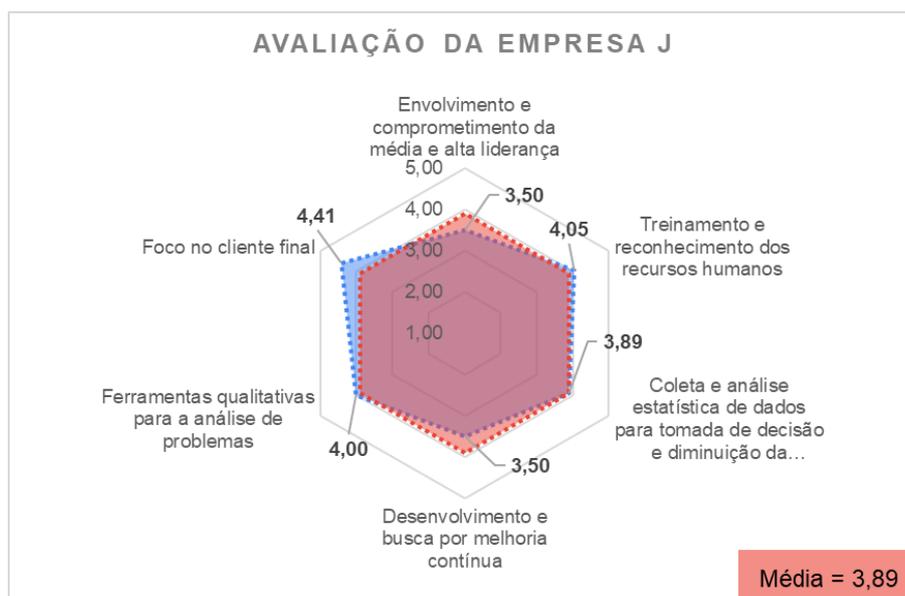
Figura 27: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa I – Pequeno Porte



Fonte: Autor (2021)

A Empresa I tem como ponto positivo a aplicação de “Ferramentas qualitativas para análise de problemas” (4,00), diferenciando-se das demais empresas que normalmente apresentam notas mais baixas em tal princípio. Os princípios “Foco no cliente final” e “Desenvolvimento e busca por melhoria contínua” obtiveram as menores notas, ambos com 3,00. Uma possível análise foi que a utilização das ferramentas qualitativas ainda não estava sendo suficiente para o alcance real da melhoria contínua e atendimento dos requisitos do cliente. Portanto, observa-se que é necessário que as ferramentas sejam utilizadas de maneira mais assertiva visando o alcance dos objetivos estratégicos das empresas perante os princípios apresentados.

Figura 28: Avaliação dos princípios do Seis Sigma na Empresa J – Micro Porte



Fonte: Autor (2021)

Por fim, a Empresa J foi mais uma que se destacou positivamente quanto ao “Foco no cliente final” (4,41) e com menores notas em relação ao “Envolvimento e comprometimento da alta e média liderança” assim como “Desenvolvimento e busca por melhoria contínua”, ambos os princípios com nota 3,50. Por ser a única empresa de micro porte da amostra, as análises foram mais dificultadas. No entanto, foi possível avaliar algumas respostas coletadas. Inicialmente, não foram identificadas as atividades que possibilitaram o real atendimento dos requisitos do cliente. De qualquer maneira, a empresa apresentou boa nota mesmo sendo de micro porte.

A Tabela 5 apresenta o resumo de todas as notas, tanto na escala Likert do método aplicado na pesquisa, quanto em percentual, buscando proporcionar uma identificação mais inteligível dos dados e níveis de aplicação dos princípios do Seis Sigma.

Tabela 5: Avaliações gerais das notas de cada empresa avaliadora

Princípio / Média / Classificação	Empresas									
	A		B		C		D		E	
	Escala Likert	%								
Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança	3,60	72,00%	4,47	89,33%	2,44	48,80%	4,80	96,00%	3,73	74,67%
Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos	4,16	83,20%	3,20	64,00%	2,52	50,40%	3,60	72,00%	4,67	93,33%
Coleta e análise estatística de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade	3,35	66,91%	4,00	80,00%	2,36	47,27%	2,91	58,18%	3,82	76,36%
Desenvolvimento e busca por melhoria contínua	3,78	75,50%	4,50	90,00%	2,28	45,50%	3,13	62,50%	3,58	71,67%
Ferramentas qualitativas para a análise de problemas	3,36	67,20%	4,07	81,33%	1,68	33,60%	3,00	60,00%	3,53	70,67%
Foco no cliente final	4,18	83,50%	4,58	91,67%	3,78	75,50%	3,06	61,25%	5,00	100,00%
Média	3,74	74,72%	4,14	82,72%	2,51	50,18%	3,42	68,32%	4,06	81,12%
Classificação	5		2		8		6		3	

Fonte: Autor (2021)

Tabela 5: Avaliações gerais das notas de cada empresa avaliadora (cont.)

Princípio / Média / Classificação	Empresas									
	F		G		H		I		J	
	Escala Likert	%								
Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança	1,80	36,00%	4,37	87,33%	2,90	58,00%	3,20	64,00%	3,50	70,00%
Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos	2,27	45,33%	4,47	89,33%	2,60	52,00%	3,60	72,00%	4,05	81,00%
Coleta e análise estatística de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade	1,42	28,48%	4,02	80,30%	2,14	42,73%	3,64	72,73%	3,89	77,73%
Desenvolvimento e busca por melhoria contínua	1,46	29,17%	4,31	86,25%	1,50	30,00%	3,00	60,00%	3,50	70,00%
Ferramentas qualitativas para a análise de problemas	1,33	26,67%	4,40	88,00%	2,10	42,00%	4,00	80,00%	4,00	80,00%
Foco no cliente final	1,63	32,50%	4,35	87,08%	2,56	51,25%	3,00	60,00%	4,41	88,13%
Média	1,65	33,03%	4,32	86,38%	2,30	46,00%	3,41	68,12%	3,89	77,81%
Classificação	10		1		9		7		4	

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 5 permite concluir que a Empresa G apresentou a maior nota geral dentre os princípios estudados com uma média de 4,32 (86,38%). Essa empresa é de grande porte e apresentou um estado bem desenvolvido de seu gerenciamento da qualidade, realizando auditorias internas e externas, tratamento de dados e adquirindo certificados de qualidade. Contudo, a Empresa F alcançou a pior nota dentre as demais com uma média de 1,65 (33,03%). A empresa é de pequeno porte, não possuía certificado de qualidade e não realizava auditorias, características que adiantam algumas análises posteriores.

4.1.4 CORRELAÇÃO ENTRE ITENS DA CARACTERIZAÇÃO E NOTAS DOS AVALIADORES

A fim de identificar as correlações reais entre as características levantadas no início do questionário, foram realizadas diversas análises estatísticas de correlação entre os fatores e as respostas captadas.

Inicialmente, foram levantadas duas possíveis correlações entre notas e características dos avaliadores, sendo elas a experiência na área em anos e a profissão do avaliador na empresa atual, buscando compreender se a idade e o cargo que ocupa (liderança ou técnico) podem acarretar padrões de respostas na amostra representativa da pesquisa aqui apresentada.

4.1.4.1 CORRELAÇÃO ENTRE EXPERIÊNCIA NA ÁREA EM ANOS E AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

A Tabela 6 apresenta os resultados de correlação entre o tempo de experiência na área e os valores médios da avaliação de cada princípio para um intervalo de confiança de 95%, com seus correspondentes Valores-P (*P-Values*).

Tabela 6: Correlação do tempo de experiência dos avaliadores com os resultados médios dos princípios

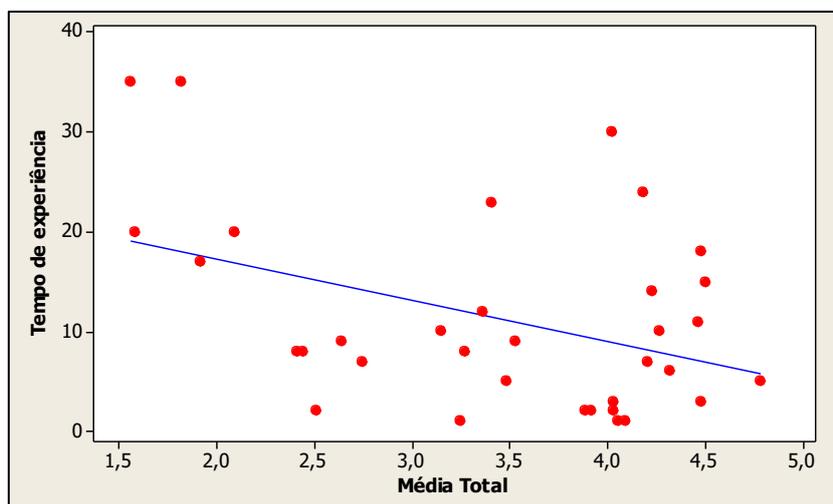
Correlação	Coefficiente de Pearson	P-Value
Experiência / Média ECL	-0,445	0,008
Experiência / Média TRH	-0,216	0,220
Experiência / Média CAEV	-0,339	0,050
Experiência / Média DMC	-0,395	0,021
Experiência / Média FQAP	-0,347	0,044
Experiência / Média FCF	-0,445	0,008
Experiência / Média Total	-0,410	0,016

Fonte: Autor (2021)

Para que a hipótese nula (H_0) fosse rejeitada e, portanto, a correlação estatística fosse significativa, o Valor-P deveriam ser menores que 0,05. Sendo assim, as linhas em destaque em cinza não podem ser consideradas como uma relação plausível.

Mesmo as correlações nas quais as hipóteses nulas foram rejeitadas, identificam-se relações fracas, visto que os coeficientes de Pearson não foram superiores a 0,445, em módulo. A Figura 29, desenvolvida no Minitab16®, apresenta a correlação entre o tempo de experiência e a média final total das avaliações individuais de cada profissional para ilustrar o resultado indicado.

Figura 29: Gráfico de correlação entre o tempo de experiência dos profissionais e média total final das avaliações individuais



Fonte: Autor (2021)

Ainda assim, é interessante observar que as relações entre a experiência em anos dos profissionais e os resultados das avaliações foram matematicamente negativos, o que indica uma relação inversamente proporcional entre os itens avaliados. Sendo assim, quanto mais experiente o avaliador, nas devidas proporções dos coeficientes, menor a nota no questionário. Essa constatação pode indicar duas possibilidades de interpretação: primeiro, a que os avaliadores mais seniores ainda podem carregar práticas e concepções mais conservadoras e/ou tradicionais da construção civil, enquanto profissionais mais juniores apresentaram práticas ou visões de gerenciamento mais atualizadas. Segundo, a visão mais rigorosa dos

processos de gestão da qualidade e melhoria contínua dentro da empresa, visto que a senioridade traz maior visão crítica da atuação da empresa, possibilitando, portanto, que sejam elencadas mais oportunidades de melhoria do que profissionais com menos anos de formação.

4.1.4.2 CORRELAÇÃO ENTRE CARGO OCUPADO E AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Por ser uma avaliação qualitativa, a correlação presente nesse tópico não pode ser realizada por meio de regressões lineares simples e, conseqüentemente, pelo Coeficiente de Pearson. Desse modo, após ser conferido que nem todos os grupos possuíam uma distribuição normal com intervalo de confiança de 95%, conforme a Tabela 7, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, visto ser um teste não-paramétrico, a fim de conferir se há alguma diferença significativa dos valores apresentados pelos grupos.

Tabela 7: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos de cargos ocupados

Grupo	P-Value
Liderança	0,155
Equipe Técnica	0,026

Fonte: Autor (2021)

Para a análise aqui presente, dividiu-se os avaliadores em dois grupos, sendo eles o de profissionais que atuam em cargos técnicos nas empresas respondentes e aqueles que ocupam cargos de liderança nas mesmas empresas. Com isso, buscou-se identificar se o nível hierárquico, ainda que generalizado, possuiu alguma influência nas avaliações dentro da amostra estudada. A Tabela 8 apresenta o resultado do teste de Kruskal-Wallis.

Tabela 8: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise de cargos

GL	H-Value	P-Value
1	0,12	0,730

Fonte: Autor (2021)

Visto que a hipótese nula indica que todas as médias são iguais e que o Valor-P é maior que 0,050, não é possível rejeitar tal hipótese. Portanto, entendeu-se que o cargo não é um fator de agrupamento relevante na análise dos dados o que pode ser entendido como positivo para pesquisa. Observou-se

que a distribuição de cargos não foi homogênea quanto ao número de avaliadores da pesquisa em cada empresa, o que poderia influenciar os valores médios individuais das empresas.

4.1.5 CORRELAÇÃO ENTRE ITENS DA CARACTERIZAÇÃO E NOTAS DOS AVALIADORES REPRESENTANDO AS EMPRESAS

Como demonstrado pelas Tabela 4 e 5 e pelos Quadros 13 e 14, a pesquisa foi conduzida com base na caracterização das empresas por meio de itens considerados importantes na análise frente ao gerenciamento da qualidade e até mesmo da melhoria contínua.

Sendo assim, nesse item, serão realizadas as medidas de correlação entre as notas dos avaliadores em relação com o tamanho da empresa, área de atuação da empresa, existência ou não de certificados de qualidade, existência de departamento da qualidade e realização de diversos tipos de auditoria.

4.1.5.1 CORRELAÇÃO ENTRE TAMANHO DA EMPRESA E AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Novamente, por ser uma comparação de dados por meio de classificações qualitativas, não foi possível realizar uma correlação direta de dados como Pearson. Sendo assim, inicialmente, foram conferidas as normalidades dos dados para definição da utilização de testes paramétricos ou não-paramétricos. Os resultados são apresentados na Tabela 9, juntamente aos resultados das médias, medianas e desvios padrões das amostras dos grupos.

Tabela 9: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos do tamanho das empresas

Grupo	N	Média	Mediana	P-Value (Teste de Normalidade)
Grande	11	4,05	4,21	0,017
Micro	4	3,89	3,71	0,313
Média	8	3,65	4,03	0,005
Pequena	11	2,52	2,44	0,702

Fonte: Autor (2021)

Como é possível analisar, os grupos das empresas Médias e Grandes rejeitaram a hipótese nula, portanto não foram consideradas distribuições normais. Sendo assim, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis inicialmente entre todos os grupos e, caso fosse constatada ao menos uma diferença de média,

testava-se entre cada grupo, buscando identificar quais eram aqueles que apresentavam notas diferentes. A Tabela 10 apresenta os testes descritos.

Tabela 10: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise do tamanho das empresas

Análise	GL	Valor H	P-Value
Geral	3	14,99	0,002
Micro/Pequena	1	5,52	0,019
Micro/Média	1	0,12	0,734
Micro/Grande	1	0,15	0,695
Pequena/Média	1	5,35	0,021
Pequena/Grande	1	12,81	0,000
Média/Grande	1	1,97	0,160

Fonte: Autor (2021)

Pode-se concluir, portanto, que houve diferença nas médias, sendo que o valor do grupo das pequenas empresas não pode ser considerado próximo ao dos demais grupos. A Tabela 11 apresenta os valores médios de cada porte de empresa.

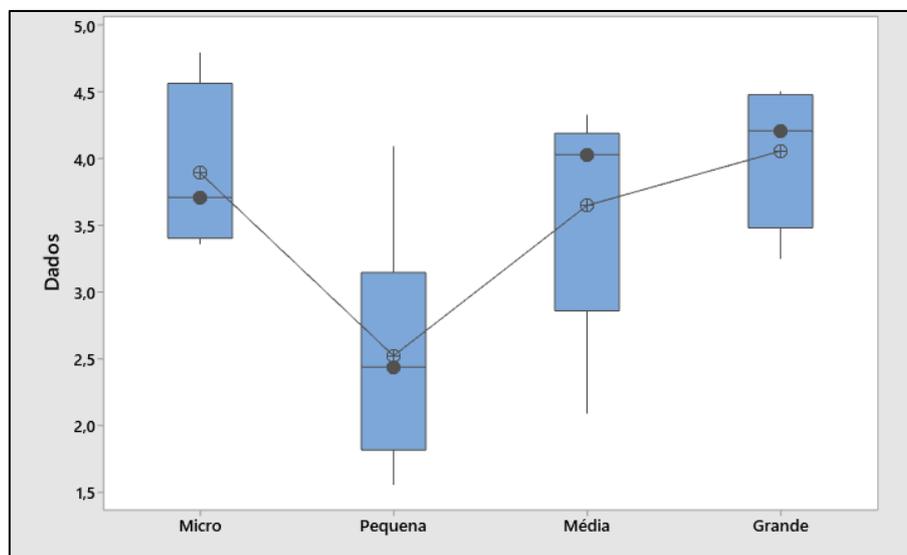
Tabela 11: Agrupamento e média dos fatores relacionados ao tamanho das empresas

Grupo	N	Média	Desvio Padrão	Agrupamento	
				A	B
Grande	11	4,054	0,490	A	
Micro	4	3,890	0,636	A	
Média	8	3,647	0,848	A	
Pequena	11	2,522	0,799		B

Fonte: Autor (2021)

A Figura 30 ilustra essa diferença por meio de um *boxplot*. Os pontos cheios representam as medianas, enquanto os pontos vazados representam as médias.

Figura 30: *Bloxplot* ilustrativo da diferença das médias de cada grupo referente ao tamanho das empresas



Fonte: Autor (2021)

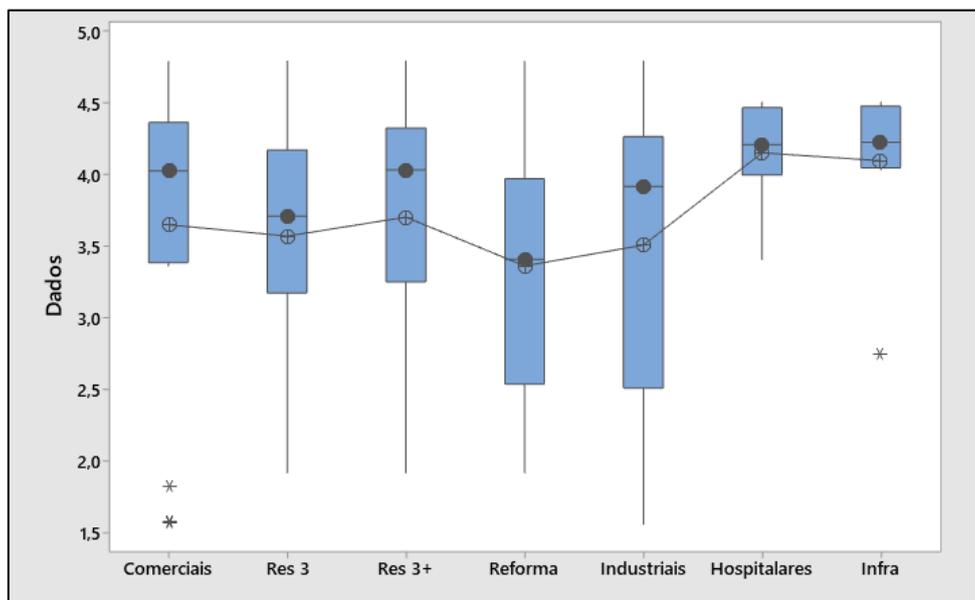
Os pontos cheios representam as medianas, enquanto os pontos vazados representam as médias. Esse resultado infere que as empresas pequenas possuem resultados mais baixos que as demais e que as empresas de porte micro, médio e grande não possuem diferenças significativas enquanto grupos. Isso representa ainda que, mesmo que as empresas grandes tenham apresentado uma média maior que as demais, o porte das empresas pode ser avaliado como uma característica determinante para a aplicação dos princípios do Seis Sigma. Também deve-se indicar que o resultado das empresas de micro porte não são tão confiáveis quanto as demais, dado que a pesquisa captou dados de apenas uma empresa desse porte.

4.1.5.2 CORRELAÇÃO ENTRE ÁREA DE ATUAÇÃO DA EMPRESA E AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Os dados avaliados em relação a área de atuação das empresas foram repetidos caso a empresa atuasse em mais de um campo da construção. Por exemplo, caso a atuação atuasse em obras hospitalares e comerciais, as médias dos avaliadores apareceriam em ambas as colunas de caracterização para compor a média final de cada grupo.

Inicialmente, buscou-se identificar a possibilidade de haver *outliers* nas avaliações devido ao grande número de respostas no item em questão. A Figura 31 ilustra os *outliers* por meio da ferramenta de *boxplot*.

Figura 31: Boxplot dos grupos de áreas de atuação para identificação de outliers



Fonte: Autor (2021)

Pela ferramenta estatística, identifica-se que o grupo de obras comerciais e o de obras de infraestrutura apresentam *outliers*, representados por asteriscos, os quais foram retirados para as análises que seguem.

Após a retirada dos *outliers*, realizou-se o teste de normalidade para identificar a parametrização da distribuição avaliada. Os resultados encontrados estão na Tabela 12.

Tabela 12: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos de áreas de atuação das empresas

Grupo	P-Value
Comerciais	0,605
Residenciais de até 3 pav.	0,313
Residenciais de mais de 3 pav.	0,059
Reformas	0,821
Industriais	0,005
Hospitalares	0,271
Infraestrutura	0,288

Fonte: Autor (2021)

Como apenas o grupo de obras hospitalares não foi considerado de distribuição normal, o mesmo foi retirado da análise e foi conduzido a ANOVA e juntamente o teste de Tukey nos demais grupos e os resultados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Resultado do teste de Tukey para análise da área de atuação das empresas

Grupo	N	Média	Desvio Padrão	Agrupamento	
				A	B
Infraestrutura	7	4,286	0,429	A	
Hospitalares	10	4,149	0,769	A	B
Comerciais	14	4,075	0,787	A	B
Residenciais de mais de 3 pav	23	3,700	0,829	A	B
Residenciais de até 3 pav.	20	3,568	0,331	A	B
Reformas	13	3,360	0,196		B

Fonte: Autor (2021)

Com os resultados da Tabela 13, pode-se inferir que as obras de infraestrutura possuíam a maior média dentre as demais áreas de atuação e que as reformas possuíam a menor nota. Obras de infraestrutura e hospitalares podem ocupar o topo da lista devido ao intenso controle de qualidade que as obras normalmente possuem, visto que o uso de tais obras é de grande especialidade e necessita de alta assertividade nos padrões. Isso não ocorre normalmente no caso de reformas, as quais tendem a ser obras com menos controle qualitativo e que, conseqüentemente aplicam menos os princípios destacados pelo Seis Sigma. Ainda, deve-se destacar que a única diferença significativa entre as médias se dá entre os grupos de infraestrutura e reformas, conferido pelo teste de Tukey e seus agrupamentos.

Para conferir os valores das obras industriais, foram conduzidos os testes de Kruskal-Wallis entre tal área da construção e as demais. Os resultados indicaram que tal grupo não possui diferença significativa com nenhum dos demais, apresentando uma média de 3,51, sendo a segunda área mais mal avaliada.

4.1.5.3 CORRELAÇÃO ENTRE CERTIFICAÇÃO DA QUALIDADE E AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Assim como a área de atuação, os dados avaliados foram repetidos caso as empresas possuísem mais de um certificado da qualidade. Novamente, conferiu-se a possibilidade de haver *outliers* nos fatores elencados. Como não

foram identificados nenhum *outlier*, continuou-se o tratamento de dados com os valores primitivos.

Como as mesmas empresas que possuíam certificação de nível A do PBQP-H também possuíam ISO 9001, não será possível distinguir as notas de tais empresas. A normalidade dos grupos é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos referentes aos certificados de qualidade das empresas

Grupo	P-Value
Nenhum	0,221
PBQP-H (Nível B)	0,589
PBQP-H (Nível A)/ISO 9001	0,014
Certificações Ambientais	0,281

Fonte: Autor (2021)

Novamente, por nem todos apresentarem P-Valores maiores que 0,05, não foi possível a realização de testes paramétricos, restando a avaliação por meio de Kruskal-Wallis, com tais resultados descritos na Tabela 15.

Tabela 15: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise dos certificados de qualidade das empresas

Análise	GL	Valor H	P-Value
Geral	3	18,11	0,000
Nenhum / PBQP-H (Nível B)	1	1,83	0,176
Nenhum / PBQP-H (Nível A) e ISO 9001	1	7,09	0,008
Nenhum / Certificações Ambientais	1	7,85	0,005
PBQP-H (Nível B) / PBQP-H (Nível A) e ISO 9001	1	10,50	0,001
PBQP-H (Nível B) / Certificações Ambientais	1	7,50	0,006
PBQP-H (Nível A) e ISO 9001 / Certificações Ambientais	1	1,15	0,283

Fonte: Autor (2021)

Para melhor visualização dos dados apresentados pelo teste na Tabela 15, organizou-se os dados por meios de um agrupamento empírico com os resultados do teste de Kruskal-Wallis na Tabela 16. Reforça-se que não é um teste de Tukey, apenas uma apresentação semelhante após a análise dos dados.

Tabela 16: Agrupamento e média dos fatores relacionados às certificações ambientais

Grupo	N	Média	Desvio Padrão	Agrupamento	
				A	B
Certificações Ambientais	6	4,32	0,192	A	
PBQP-H (Nível A) e ISO 9001	14	4,07	0,436	A	
Nenhum	15	3,17	1,047		B
PBQP-H (Nível B)	5	2,51	0,443		B

Fonte: Autor (2021)

Observou-se apenas uma diferença significativa entre os dois grupos com as maiores médias e os dois grupos com as menores médias. Ainda cabe analisar que os que apresentaram certificações ambientais obtiveram as maiores notas, possivelmente por serem empresas de maior porte. Esses selos refletem que além da qualidade como simples atendimento aos requisitos do cliente, existem novos parâmetros que podem ser considerados como fator de marketing.

O Nível B do PBQP-H, que aparece por último na Tabela 16, visto que apenas uma empresa possuía tal certificação, teve nota baixa. Observou-se que empresas que não possuíam nenhuma certificação obtiveram notas que contribuíram no aumento da média. Ainda assim, é um resultado interessante, visto que uma certificação não necessariamente pode atender aos requisitos de um método de melhoria contínua como esperado desde a revisão da literatura.

4.1.5.4 CORRELAÇÃO ENTRE REALIZAÇÃO DE AUDITORIAS E AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Assim como as correlações anteriores, os dados avaliados foram repetidos caso as empresas possuíssem mais de um certificado da qualidade. Novamente, conferiu-se a possibilidade de haver *outliers* nos fatores elencados. Como não foram identificados nenhum *outlier*, continuou-se o tratamento de dados com os valores primitivos.

Como as mesmas empresas que realizavam auditorias externas também realizavam auditorias internas por meio de empresas terceiras, não será possível distinguir as notas de tais grupos. A normalidade dos grupos é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17: P-Valores do teste de normalidade das avaliações dos grupos referentes à realização de avaliações por auditorias

Grupo	P-Value
Nenhuma	0,450
Auditoria Interna	0,009
Auditoria Interna por Terceiros e Auditoria Externa	0,014

Fonte: Autor (2021)

Em mais uma oportunidade, por nem todos apresentarem P-Valores maiores que 0,05, não foi possível a realização de testes paramétricos, restando a avaliação por meio de Kruskal-Wallis, com tais resultados descritos na Tabela 18.

Tabela 18: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise da avaliação por meio de auditorias

Análise	GL	Valor H	P-Value
Geral	3	2	0,005
Nenhuma/ Auditoria Interna	1	6,06	0,014
Nenhuma/ Auditoria Interna por Terceiros e Auditoria Externa	1	9,34	0,002
Auditoria Interna/ Auditoria Interna por Terceiros e Auditoria Externa	1	0,57	0,450

Fonte: Autor (2021)

Para melhor visualização dos dados apresentados pelo teste na Tabela 18, organizou-se os dados por meios de um agrupamento empírico com os resultados do teste de Kruskal-Wallis na Tabela 19. Reforça-se que não é um teste de Tukey, apenas uma apresentação semelhante após a análise dos dados.

Tabela 19: Agrupamento e média dos fatores relacionados às avaliações por auditoria

Grupo	N	Média	Agrupamento	
			A	B
Auditoria Interna por Terceiros e Auditoria Externa	14	4,072	A	
Auditoria Interna	17	3,824	A	
Nenhuma	17	3,062		B

Fonte: Autor (2021)

Percebeu-se, portanto, que a realização de auditorias contribuiu significativamente para atingir-se uma nota mais relevante frente aos princípios do Seis Sigma aplicados na construção civil. Isso pode indicar que empresas

que prezam pela consolidação da gestão da qualidade por meio de avaliações robustas e metodológicas têm a possibilidade de implementar mais facilmente a gestão da melhoria contínua nas atividades de canteiro de obra.

Infelizmente, nenhuma empresa que realizava auditorias externas deixou de realizar auditorias internas por meio de empresas terceiras, o que impossibilitou a análise individual desses grupos de avaliação. No entanto, foi possível concluir que quanto mais arrojado o nível de avaliação de suas atividades e processos, maior a possibilidade de se aplicar práticas da melhoria contínua no canteiro.

4.1.5.5 CORRELAÇÃO ENTRE EXISTÊNCIA DE DEPARTAMENTO DA QUALIDADE E AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

A última correlação que se julgou válido de realizar foi a com a existência do departamento da qualidade nas empresas construtoras. Os grupos não apresentaram outliers e as distribuições não eram normais em sua totalidade, portanto foi conduzido um teste de Kruskal-Wallis único para conferir a diferença significativa das médias entre os dois grupos, apresentado na Tabela 20.

Tabela 20: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para análise da existência de departamento da qualidade

Análise	GL	Valor H	P-Value
Geral	1	11,28	0,001

Fonte: Autor (2021)

Os valores médios são apresentados na Tabela 21 e a discussão é realizada logo em seguida.

Tabela 21: Agrupamento e média dos fatores relacionados à existência de departamento da qualidade

Grupo	N	Média	Agrupamento	
			A	B
Sim	14	4,072	A	
Não	20	3,003		B

Fonte: Autor (2021)

Ainda que pareça óbvia essa relação, ela é importante para que a análise se volte para o gerenciamento da qualidade como etapa anterior ao gerenciamento da melhoria contínua. Sabe-se que melhoria contínua é

descendente da qualidade em si e os resultados apresentados demonstram que um departamento da qualidade influencia positivamente em um possível gerenciamento da melhoria contínua, quando avaliado pelos princípios do Seis Sigma.

Diversas empresas parecem buscar antes a melhoria contínua sem antes revisitar sua própria estrutura a fim de conferir se estão atendendo aos princípios da qualidade em si. Esse tópico, portanto, demonstrou que estruturar os processos visando o atendimento dos requisitos do cliente pode consequentemente permitir que a empresa também busque a constante melhoria de seus processos se assim visado.

A pesquisa desenvolvida e apresentada pode relatar diversos resultados correlacionados com a caracterização de cada empresa respondente, além de algumas características dos avaliadores em si. Sendo assim, a Tabela 22 apresenta os grupos de cada análise que obtiveram a maior e menor nota de acordo com a proposta de avaliação.

Tabela 22: Maiores e menores notas de acordo com as características avaliadas das empresas

Característica de Avaliação	Maior nota	Menor nota
Tamanho das empresas	Grande – 4,05	Pequena – 2,52
Área de atuação	Infraestrutura – 4,29	Reformas – 3,36
Certificação da qualidade	Certificações Ambientais – 4,32	PBQP-H (Nível B) – 2,51
Auditorias	Auditoria interna por terceiros e auditoria externa – 4,07	Nenhuma – 3,06
Departamento da qualidade	Sim – 4,07	Não – 3,00

Fonte: Autor (2020)

A Tabela 22, portanto, resume os resultados encontrados nas correlações. As empresas mais bem estruturadas, principalmente em relação à gestão da qualidade, apresentaram a possibilidade de aplicar mais facilmente o Seis Sigma para a realização da gestão da melhoria contínua. Os resultados apontaram que fatores como o tamanho, área de atuação, existência da certificação da qualidade, existência de auditorias e de departamento da qualidade contribuíram para notas mais elevadas no questionário que quantificou

empiricamente os graus de aplicação de cada princípio do Seis Sigma. Com isso foi possível atender o objetivo e constatar a possibilidade de o método proposto ser aplicado em empresas construtoras.

4.1.6 IDENTIFICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DOS PRINCÍPIOS DO SEIS SIGMA POR MEIO DE AVALIAÇÃO EMPÍRICA

Para buscar avaliar a importância dos princípios do Seis Sigma estudados e avaliados pela literatura na construção civil na última década, decidiu-se criar no questionário uma seção que requisitava aos avaliadores que indicassem de 1 (um) a 5 (cinco) o nível de importância de cada um dos princípios para a aplicação da melhoria contínua em empresas construtoras e, posteriormente, que indicassem o nível de importância, na mesma escala, da aplicação da melhoria contínua na construção civil.

O objetivo foi não apenas entender qual dos princípios se destacou dentre os demais de acordo com a opinião dos profissionais da área e qual o nível de importância da melhoria contínua nas empresas contatadas, mas também a influência que cada princípio pode exercer na importância da melhoria contínua na construção civil. Espera-se com isso contribuir para a análise e entendimento de um plano de ação para o desenvolvimento inicial de práticas de melhoria contínua. O resumo das avaliações de importância pode ser encontrado na Tabela 23.

Tabela 23: Resumo das avaliações de importância de cada princípio e da melhoria contínua na construção civil

Princípios	Sigla	Média	Desvio Padrão	Maior Nota Individual	Menor Nota Individual
Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança	ECL	4,529	0,788	5,00	2,00
Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos	TRH	4,294	0,836	5,00	2,00
Coleta e análise estatística de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade	CAEV	4,235	0,955	5,00	2,00
Desenvolvimento e busca por melhoria contínua	DBMC	4,441	0,786	5,00	2,00
Ferramentas qualitativas para a análise de problemas	FQAP	4,088	0,965	5,00	2,00
Foco no cliente final	FCF	4,676	0,684	5,00	2,00
Melhoria contínua na construção civil	MCCC	4,647	0,734	5,00	2,00

Fonte: Autor (2021)

Com a Tabela 23, pode-se notar que o princípio “Foco no cliente final” (4,676) apresentou a maior avaliação quanto a sua importância na aplicação da melhoria contínua na construção civil. De fato, a literatura preza em grandes proporções para o atendimento do requisito dos clientes em todas as etapas, além de elencá-los como norteadores nas diversas escolhas ao longo da construção.

Por outro lado, o princípio “Ferramentas qualitativas para a análise de problemas” (4,088) apresentou-se como o de menor importância. Para a aplicação da gestão da melhoria contínua não é obrigatório o uso de ferramentas da qualidade, no entanto seu uso enrobustece as análises qualitativas, possibilitando uma visão mais ampla e analítica do problema e sua solução, afastando-se de decisões integralmente empíricas. Tal resultado pode ter sido influenciado pela realidade da indústria da construção brasileira, visto que poucos são as empresas que utilizam essas ferramentas de gestão, refletindo na percepção de importância dos avaliadores.

A importância da melhoria contínua na construção civil alcançou uma nota de 4,647, o que pode ser interpretado como uma nota alta para a percepção de importância (92,94/100), independente do porte da empresa. Esse resultado é um dos pontos positivos da pesquisa, visto que refletiu a percepção dos profissionais do setor de proporcionar o desenvolvimento de métodos que permitam o incremento cíclico não apenas das atividades, mas do cotidiano da obra e, conseqüentemente, seus processos.

Ainda nesse tópico, cabe avaliar a relação entre a importância de cada princípio com a importância da melhoria contínua no setor da construção. Para tal, desenvolve-se uma regressão linear múltipla, com o auxílio do software RStudio®, avaliando a proporcionalidade dos princípios do Seis Sigma com a melhoria contínua em si.

A priori, realizou-se a regressão com todos os princípios e seus resultados interligados, acarretando a Equação 8, sendo que os valores dos coeficientes são validados ou não pela Tabela 24.

$$MCCC = -0,300 + 0,013ECL - 0,019TRH - 0,092CAEV + 0,370DMC + 0,157FQAP + 0,658FCF \quad \text{Eq. 8}$$

Tabela 24: Valores estatísticos dos princípios pela regressão linear

Princípio	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.30041	0.35317	-0.851	0.4025
ECL	0.01332	0.10731	0.124	0.9022
TRH	-0.01890	0.10653	-0.177	0.8605
CAEV	-0.09240	0.07930	-1.165	0.2541
DBMC	0.36977	0.07705	4.799	5.23e-05
FQAP	0.15711	0.07483	2.100	0.0453
FCF	0.65758	0.10019	6.564	4.86e-07

Fonte: Autor (2021)

Os princípios destacados na planilha apresentação P-Valor maior que o nível de confiança da regressão em si, indicando que a hipótese nula que o coeficiente é igual ou se assemelha a zero não é rejeitada. Sendo assim, os três primeiros princípios e o intercepto com o eixo vertical são anulados da análise. Assim, realiza-se outra regressão com os valores que permaneceram influentes e são apresentados novamente na Equação 9 e validados na Tabela 25.

$$MCCC = -0,333 + 0,354DBMC + 0,105FQAP + 0,636FCF \quad \text{Eq. 9}$$

Tabela 25: Valores estatísticos dos princípios pela regressão linear ajustada

Princípio	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.33267	0.34225	-0.972	0.3388
DBMC	0.35433	0.07414	4.779	4.34e-05
FQAP	0.10511	0.06056	1.736	0.0929
FCF	0.63646	0.08257	7.708	1.34e-08

Fonte: Autor (2021)

Novamente, tem-se dois coeficientes que não se diferenciam de zero, necessitando de mais uma análise de regressão com ajuste dos coeficientes, indicados pela Equação 10 e Tabela 26.

$$MCCC = -0,341 + 0,405DBMC + 0,682FCF \quad \text{Eq. 10}$$

Tabela 26: Valores estatísticos dos princípios pela segunda regressão linear ajustada

Princípio	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.34146	0.35315	-0.967	0.341
DBMC	0.40505	0.07031	5.761	2.43e-06
FCF	0.68206	0.08078	8.443	1.55e-09

Fonte: Autor (2021)

Como apenas o intercepto no eixo vertical apresenta o P-Valor acima de 0,050 ele é o único retirado da equação, concluindo na Equação 11 que segue:

$$MCCC = 0,405DBMC + 0,682FCF \quad \text{Eq. 11}$$

Visto que o tamanho da amostra é maior que quinze, devido aos 34 respondentes, não é necessário conferir sua normalidade, pois o número de respostas basta para a confiabilidade da regressão apresentada. Ainda assim, é importante demonstrar que o teste foi conduzido, em sua estrutura, de maneira independente e, portanto, os resíduos não estão correlacionados. Para tal, foi realizado o teste de Durbin-Watson, sendo o P-Valor de 0,1935, significando que a distribuição não está auto correlacionada.

Por fim, cabe indicar que o R^2 da equação encontrada é de 0,868, o que significa que o modelo representa a realidade desse estudo em 86,8% das oportunidades.

Em relação aos coeficientes em si da regressão, é possível analisar que dois dos seis princípios elencados nesse estudo apresentam relação direta entre a importância deles e a importância da melhoria contínua na construção civil. Sendo assim, quanto maior a avaliação da importância de “Desenvolvimento e Busca por Melhoria Contínua” e “Foco no Cliente Final”, maior também a nota de importância da “Melhoria Contínua na Construção Civil”. Com esse resultado, pode-se atrelar a importância desses princípios com a importância de aplicação da melhoria contínua e, conseqüentemente, nortear as empresas na busca pelo gerenciamento da melhoria contínua por meio desses dos princípios em seu estado inicial.

“Foco no Cliente Final” foi o princípio que apresentou o maior coeficiente, indicando que sua importância tem a maior relação de importância com a aplicação da melhoria contínua. Isso demonstrou que o cliente deve ser foco não apenas de um sistema de qualidade tradicional, mas também de um processo de incremento cíclico das atividades e procedimentos na construção civil.

4.2 PROPOSTA GERAL PARA IMPLANTAÇÃO SISTÊMICA DO SEIS SIGMA EM EMPRESAS CONSTRUTORAS

Após a avaliação da aplicação dos princípios do Seis Sigma em empresas construtoras, realizou-se uma proposta mais generalista de aplicação dos seis princípios apresentados pela pesquisa, a fim de guiar as empresas na aplicação de novos métodos buscando a estruturação das empresas para o início e posterior manutenção de sistemas de gerenciamento da melhoria contínua. O Quadro 15 apresenta algumas recomendações para a aplicação de cada princípio, além de indicar quais os possíveis ganhos das empresas frente a essa introdução com base na pesquisa realizada.

Quadro 15: Oportunidades de aplicação dos princípios e ganhos esperados

Princípios	Oportunidades de aplicação	Ganhos esperados
Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança	<ol style="list-style-type: none"> 1. Liderança presente e atuante nos desafios do canteiro de obras; 2. Auto avaliações constantes sobre o modelo de gerenciamento e o sistema de gestão da qualidade; 3. Metas claras e objetivas com o objetivo de motivar a todos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desenvolvimento de confiança entre o líder e os liderados; 2. Motivação constante ao desenvolvimento de melhorias em todos os setores da obra; 3. Liderança pelo exemplo.
Treinamento e reconhecimento de recursos humanos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apoio no desenvolvimento técnico dos empregados; 2. Apoio no desenvolvimento de características gerenciais nos empregados; 3. Treinamento continuado do empregado em busca da melhoria contínua do próprio profissional. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Empregados motivados; 2. Empregados tecnicamente preparados, levando à diminuição de variabilidades; 3. Empregados gerencialmente alertas, difundindo boas práticas de gestão e colaborando para o desenvolvimento da melhoria contínua.
Intensa coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coleta dados dos produtos parciais por meio de definição de populações amostrais; 2. Coleta de dados sobre a produtividade dos serviços; 3. Coleta de dados sobre os insumos da obra; 4. Planejamento de obras em cima do tratamento estatístico dos dados coletados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análises estatísticas reais sobre a variabilidade dos serviços e produtos; 2. Identificação dos gargalos sobre a qualidade e produtividade do sistema produtivo; 3. Obras com menos desvios na execução devido ao planejamento mais condizente com a realidade do canteiro.
Desenvolvimento e busca por melhoria contínua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilização de ciclos metodológicos como o DMAIC; 2. Desenvolvimento de práticas e modelos que prezem pela análise cíclica constante dos processos e atividades; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criação de cultura que preza pela melhoria contínua em todos os processos; 2. Controle rigoroso de qualidade de todos os envolvidos com a produção;

Princípios	Oportunidades de aplicação	Ganhos esperados
	3. Constante avaliação sobre o desempenho do sistema de qualidade; 4. Programa de controle dos fornecedores; 5. Avaliação e entendimento dos feedbacks dos clientes finais.	3. Atendimento aos requisitos do cliente final.
Ferramentas qualitativas para análise de problemas	1. Utilização efetiva de ferramentas da qualidade; 2. Definição das atividades críticas para a qualidade.	1. Entendimento claro das dificuldades da empresa. 2. Ilustrar e registrar as dificuldades e erros enfrentados; 3. Estruturar possíveis planos de ação para solução e/ou melhorias nos processos e produtos.
Foco no cliente final	1. Definição dos clientes finais; 2. Avaliação do grau de satisfação dos clientes finais; 3. Atendimento aos clientes após a entrega dos produtos.	1. Entendimento das necessidades dos clientes a cada produto; 2. Melhoria contínua frente ao atendimento dos clientes finais.

Fonte: Autor (2021)

O Quadro 15 é apenas um resumo geral das possibilidades de aplicação dos princípios elencados pela pesquisa, visto que o questionário em si é o maior direcionador para a aplicação sugerida. Sendo assim, para que as empresas consigam atingir os ganhos esperados espera-se que as etapas do ciclo DMAIC de desenvolvimento sejam cumpridas:

- **Etapa 1 – Definir:** A empresa deve entender quais são suas prioridades e quais os motivadores de aplicar os princípios do Seis Sigma com o objetivo de iniciar o gerenciamento da melhoria contínua nas atividades da empresa;
- **Etapa 2 – Medir:** Realizar a autoavaliação de seus processos por meio do questionário. A empresa pode utilizar apenas a opinião da liderança, mas recomenda-se que diversos profissionais tenham a oportunidade de demonstrar sua visão do estado da empresa por meio das respostas do questionário apresentado por essa pesquisa;
- **Etapa 3 – Analisar:** Analisar os principais gargalos da empresa frente aos resultados obtidos pela avaliação do questionário. Antes mesmo da avaliação, a empresa pode definir por meio de pesquisa interna quais os princípios mais relevantes e críticos na aplicação interna;

- Etapa 4 – Incrementar: Entendido e analisado os gargalos que a empresa enfrenta, devem ser elencadas quais as medidas a serem tomadas para que se aproximem de uma nota mais próxima da máxima no questionário. Além disso, é um bom momento para a empresa entender junto aos seus funcionários quais práticas podem ser revistas e aproveitar a experiência individual e conjunta para a construção de um ambiente mais produtivo e saudável;
- Etapa 5 – Controlar: Como toda aplicação de método de gestão, a nota da empresa pode flutuar durante os primeiros anos. Sendo assim, é essencial que a empresa controle a aplicação dos princípios por meio de indicadores bem definidos, visando a manutenção do sistema e posterior melhoria.

É interessante observar que um dos resultados da pesquisa foram os princípios do Seis Sigma entendidos como mais importantes em relação à importância da própria melhoria contínua por meio de regressão linear, demonstrando correlação direta entre tais importâncias. Sendo assim, pode ser um norteador para as empresas a aplicação inicial do “Desenvolvimento e Busca por Melhoria Contínua” e o “Foco no Cliente Final” para o alcance de resultados pertinentes com a aplicação de apenas dois princípios.

Com as correlações entre a caracterização das empresas e os resultados dos questionários, pode ser recomendado que as empresas estruturem departamentos de qualidade, caso não o possuam, para auxiliar no gerenciamento da qualidade da obra. Posteriormente, o setor poderá realizar auditorias e promover a busca por certificações da qualidade, o que se mostrou positivo nos resultados apresentados nessa dissertação para a aplicação dos princípios do Seis Sigma.

Essa proposta colabora com a busca pelo desenvolvimento contínuo dos processos de empresas de todos os portes e áreas de atuação, com o objetivo de possibilitar a maior difusão de modelos de gestão da melhoria contínua, além de criar a cultura de gerenciamento em um setor tão carente de métodos de gestão bem consolidados.

5. Conclusões

A pesquisa concluída passou por diversas etapas para chegar nos resultados apresentados na seção anterior. Inicialmente foi realizada uma ampla pesquisa na literatura visando a construção de uma base argumentativa para os objetivos, além de analisar os contextos passados de gerenciamento dos processos e qualidade até desenvolver-se a gestão da melhoria contínua. Em seguida, foi analisado o método do Seis Sigma, apresentando suas características e particularidades frente a outros modelos metodológicos de gestão de processos e qualidade. Posteriormente, uma revisão da literatura sistemática (RSL) foi conduzida com o objetivo de avaliar as produções acadêmicas relevantes na última década sobre o tema escolhido, elencando os princípios do Seis Sigma mais utilizados em artigos que relatam a busca por melhoria contínua nos canteiros de obra. Com a RSL, pode-se concluir que a construção civil não aplica todos os princípios do Seis Sigma elencados na literatura e identificados em publicações voltadas a outros setores industriais. Foram propostos seis princípios, sendo eles (i) envolvimento e comprometimento da média e alta liderança; (ii) treinamento e reconhecimento de recursos humanos; (iii) intensa coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade; (iv) desenvolvimento e busca por melhoria contínua; (v) ferramentas qualitativas para análise de problemas; (vi) foco no cliente. O princípio (iv) foi o mais presente na literatura acadêmica levantada.

Com tais dados em mãos e após algumas visitas em canteiros de empresas com o sistema da qualidade bem desenvolvidos, desenvolveu-se o questionário utilizado para avaliar o grau de aplicação de cada princípio dos Seis Sigma e, por consequência, a possibilidade de aplicação de tal método embasado em tais princípios.

O questionário confeccionado contribuiu diretamente com a estruturação da análise da aplicação dos princípios do Seis Sigma em empresas construtoras por meio de questões estruturantes e direcionadoras condizentes com a realidade da construção civil. As questões elencadas podem nortear as

empresas construtoras a aplicarem práticas que possibilitam o constante desenvolvimento de suas atividades e processos em cada âmbito levantado. Desse modo, conclui-se que a proposta pode se tornar uma ferramenta efetiva na busca por melhoria contínua em empresas construtoras.

Ainda assim, sabe-se que a construção civil deve se desenvolver consideravelmente para atingir a gestão da melhoria contínua em si. No entanto, a melhoria contínua pode sim ser aplicada no cotidiano das construtoras, sendo essa uma das constatações da pesquisa. Inicialmente, pode-se recomendar a estruturação básica da gestão da qualidade e posteriormente o controle incremental dos processos e produtos. Esse controle pode ser desenvolvido com a autoavaliação desenvolvida pelo questionário e o constante giro do ciclo DMAIC para obtenção de melhores notas nos princípios e busca pela perfeição nos produtos. Sendo assim, a melhoria contínua pode ser desenvolvida em qualquer atividade, sendo ela serviços realizados no canteiro (como assentamento de blocos, concretagem, instalações hidrossanitárias etc.) bem como processos no modelo de negócio das empresas (como procedimentos de contratação de funcionários, reconhecimento dos funcionários, captação e tratamento de dados etc.).

Além do questionário desenvolvido, outra contribuição da pesquisa é a apresentação de um método estatístico de análise de dados, sendo responsável pela avaliação estruturada das correlações e da importância de cada princípio frente à melhoria contínua na construção civil.

O destaque positivo no estudo realizado foi o princípio “Foco no cliente final”. Cabe uma avaliação particular desse princípio, pois ainda que as empresas estejam se autoavaliando como donas de boas práticas de atendimento ao requisito dos clientes, é importante indicar que poucas são as empresas que efetivamente aplicam todas as questões elencadas no processo de avaliação. Sendo assim, deve-se entender quais os motivos das empresas terem tal visão de seus processos e produtos e a sociedade, de um modo geral, ainda classificarem a construção civil como uma indústria de baixa aplicação de gestão da qualidade.

O destaque negativo foi a aplicação de “Ferramentas qualitativas para a análise de problemas”. Essa análise refletiu a realidade das empresas construtoras que pouco buscam pautar as decisões em ferramentas consolidadas e metodológicas, as quais possam trazer resultados e planos de ação mais bem estruturados. A construção civil tem um caráter empírico em sua tomada de decisão, pautada em grande parte nas experiências dos engenheiros presentes, sendo esse, portanto, uma das grandes oportunidades de melhoria da construção civil frente à melhoria contínua.

Em uma análise mais generalista, é possível indicar que as empresas ainda possuem grandes gargalos até o alcance da aplicação da gestão da melhoria contínua por meio do Seis Sigma. Ainda assim, os resultados demonstram que empresas mais bem estruturadas em seus processos podem iniciar a caminhada de aplicação da melhoria contínua sem dificuldades. A construção civil ainda apresenta atraso em comparação com demais indústrias, no entanto o cenário pode ser revertido com o investimento de tempo e capital frente aos princípios aqui apresentados. Percebeu-se pelas notas gerais que as empresas buscaram com maior intensidade a aplicação de ações voltadas aos clientes finais, o que consequentemente pode influenciar positivamente no desenvolvimento da melhoria contínua caso tais clientes vislumbrem um incremento qualitativo constante de seus produtos. No entanto, as empresas ainda falham na aplicação de ferramentas que poderiam facilitar o gerenciamento incremental de seus processos e produtos, demonstrando ainda o atraso metodológico do setor.

Ainda é notório que a construção civil de maneira mais ampla está longe de ser um modelo de aplicação da melhoria contínua, o que foi refletido nas notas apresentadas pelas empresas. Percebeu-se que grandes empresas possuíam maior estrutura para a aplicação inicial de um modelo mais robusto de gerenciamento da melhoria contínua por meio do Seis Sigma, por exemplo. No entanto, sabe-se que a realidade da construção civil não é composta por grandes construtoras, mas sim por pequenas e microempresas. Isso não significa, porém, que pesquisas como a realizada não sejam necessárias, visto que possibilitarão entender quais as principais oportunidades de melhoria das empresas com tais

lacunas de gestão. Sendo assim, um dos maiores ganhos da dissertação foi o que permitiu fornecer uma proposta avaliativa e norteadora para a aplicação de práticas que futuramente podem acarretar o gerenciamento da melhoria contínua de forma mais estruturada.

Deve-se destacar que não foram as características que determinaram a possibilidade de aplicação do Seis Sigma, mas sim as consequências de tais caracterizações. Por exemplo, uma empresa ser pequena não refletiu na impossibilidade de aplicação do método, mas sim que, por possuir um porte menor, provavelmente haverá pouco investimento nas questões que permeiam os princípios elencados, visto que várias decisões possuem aspecto de planejamento diário.

Por meio da regressão linear múltipla foi possível identificar quais princípios tem correlação direta entre sua importância e a importância da melhoria contínua, o que permitiu concluir quais podem ser aplicados para que o alcance do Seis Sigma seja mais rápido e eficaz. Concluiu-se, portanto, que o princípio "Foco no cliente final" apresentou maior importância quando analisado em relação à aplicação da melhoria contínua. Além disso, "Desenvolvimento e busca por melhoria contínua" também apresentou um resultado positivo quando relacionado à importância da melhoria contínua.

As limitações da pesquisa estão diretamente relacionadas com o número de avaliadores e o número de empresas nas quais esses trabalhavam. Conforme mencionado anteriormente, ainda que o pesquisador tenha contatado mais de 160 empresas construtoras de todos os portes e regiões do Brasil, apenas dez se disponibilizaram a responder o questionário, totalizando 34 avaliadores. Isso demonstrou as dificuldades de transferência do conhecimento, lacunas de comunicação e interação entre o mercado e a academia. A academia deve sim se colocar à disposição para ouvir e realizar estudos que atendam à demanda do mercado, no entanto as empresas também devem se colocar à disposição, visto que a melhoria da realidade da construção civil passa por estudos profundos que, em grande parte, é iniciado pelas universidades.

É importante indicar que a pesquisa elencada não analisou cada princípio em relação aos grupos de característica de avaliação. Sendo assim, para uma

análise mais robusta, pode-se avaliar e entender qual a relação de cada caracterização com as notas de cada princípio individualizadas. Além disso, é possível desenvolver estudos de caso visando a aplicação dos princípios nas empresas a longo prazo, buscando avaliar os impactos dos princípios nos modelos de gestão da qualidade e melhoria contínua além dos resultados em canteiros de obra.

Também como pesquisas futuras, pode-se complementar o número de empresas respondentes buscando maior confiabilidade nos dados analisados. A proposta metodológica e o questionário construído para a avaliação do grau de aplicação do Seis Sigma também podem servir de inspiração para demais modelos de gerenciamento que são aplicados no mercado e que ainda estão em estágios iniciais na construção civil como, por exemplo, os modelos ágeis na construção civil. Algumas sugestões para pesquisas futuras são indicadas a seguir:

- influência dos *soft factors* na aplicação da melhoria contínua em empresas construtoras;
- avaliação dos princípios do modelo de gerenciamento Ágil em empresas construtoras;
- pesquisa-ação da aplicação da melhoria contínua por meio dos princípios do Seis Sigma em empresas construtoras de pequeno e médio porte.

Referências Bibliográficas

- ABOELMAGED, M. G. Six Sigma quality: a structured review and implications for future research. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 27, n. 3, p. 268–317, 2010.
- ABOELMAGED, M. G. Reconstructing Six Sigma barriers in manufacturing and service organizations: The effects of organizational parameters. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 28, n. 5, p. 519–541, 2011.
- AL-AOMAR, R. A lean construction framework with six sigma rating. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 3, n. 4, p. 299–314, 2012.
- ALDAIRI, J.; KHAN, M. K.; MUNIVE-HERNANDEZ, J. E. Knowledge-based Lean Six Sigma maintenance system for sustainable buildings. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 8, n. 1, p. 109–130, 2017.
- ALDOWAISAN, T.; NOURELFATH, M.; HASSAN, J. Six Sigma performance for non-normal processes. **European Journal of Operational Research**, v. 247, n. 3, p. 968–977, 2015.
- ALVES, T. D. C. L.; MILBERG, C.; WALSH, K. D. Exploring lean construction practice, research, and education. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 19, n. 5, p. 512–525, 2012.
- ANDERSON, N. C.; KOVACH, J. V. Reducing welding defects in turnaround projects: A lean six sigma case study. **Quality Engineering**, v. 26, n. 2, p. 168–181, 2014.
- ANDERSSON, R.; ERIKSSON, H.; TORSTENSSON, H. Similarities and differences between TQM, six sigma and lean. **TQM Magazine**, v. 18, n. 3, p. 282–296, 2006.
- 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.; DESAI, D. A. Assessing the status of six sigma implementation in the Indian industry: Results from an exploratory empirical study. **Management Research News**, v. 32, n. 5, p. 413–423, 2009.
- AZIZ, R. F.; HAFEZ, S. M. Applying lean thinking in construction and performance improvement. **Alexandria Engineering Journal**, v. 52, n. 4, p. 679–695, 2013.

- BAJJOU, M. S.; CHAFI, A. Identifying and Managing Critical Waste Factors for Lean Construction Projects. **EMJ - Engineering Management Journal**, v. 32, n. 1, p. 2–13, 2020.
- BALBINOTTI, M. A. A.; BARBOSA, M. L. L. Análise da consistência interna e fatorial confirmatório do IMPRAFE-126 com praticantes de atividades físicas gaúchos. **Psico-USF**, v. 13, n. 1, p. 1–12, 2008.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. A. Lean project management. **Building Research and Information**, v. 31, n. 2, p. 119–133, 2003.
- BANAWI, A. A.; BESNE, A.; FONSECA, D.; FERRANDIZ, J. A three methods proactive improvement model for buildings construction processes. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 10, p. 1–14, 2020.
- BANAWI, A.; BILEC, M. M. A framework to improve construction processes: Integrating lean, green and six sigma. **International Journal of Construction Management**, v. 14, n. 1, p. 45–55, 2014.
- BARTLETT, L.; VAVRUS, F. Estudos de Caso Comparado. **Educação & Realidade**, v. 42, n. 3, p. 899–920, 2017.
- BEHARA, R. S.; FONTENOT, G. F.; GRESHAM, A. Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 12, n. 3, p. 9–18, 1995.
- BERR, L. R.; FORMOSO, C. T. Método para avaliação da qualidade de processos construtivos em empreendimentos habitacionais de interesse social. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 77–96, 2012.
- BISHARA, A. J.; HITTNER, J. B. Testing the significance of a correlation with nonnormal data: Comparison of Pearson, Spearman, transformation, and resampling approaches. **Psychological Methods**, v. 17, n. 3, p. 399–417, 2012.
- BRAVO, M.; EUPHROSINO, C. A.; FONTANINI, P. S. P. **DMAIC Manual for an Integrated Management System: Application in a Construction Company**. Proc. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). **Anais...2020**
- CUNHA, J. D. DA C.; ABREU, V. H. S. Aplicação do Método PDCA para melhoria do Processo Construtivo de uma Empresa de Grande Porte | Boletim do Gerenciamento. **Revista Boletim do Gerenciamento**, v. 9, n. 1, p. 11–18, 2019.
- DAKHLI, Z.; LAFHAJ, Z.; BOS, A. Experiencing Lean Six Sigma in the French residential construction: Setting effective performance indicators to address client satisfaction. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 7, n. 4, p. 346–368, 2016.

DE FREITAS, J. G.; COSTA, H. G.; FERRAZ, F. T. Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability: A survey study. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 262–275, 2017.

DEDHIA, N. S. Six sigma basics. **Total Quality Management and Business Excellence**, v. 16, n. 5, p. 567–574, 2005.

EOM, S. J.; JANG, W.-S.; KIM, S. Managing concrete crack information through correction of the slab rebar arrangement based on Six Sigma. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 19, n. 7, p. 1973–1981, 20 fev. 2015.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. DESMISTIFICANDO A REVISÃO DE LITERATURA COMO BASE PARA REDAÇÃO CIENTÍFICA: MÉTODO SSF. **Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina**, v. 21, n. 3, p. 550–563, 2016a.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. Passo-a-passo para construção da Revisão Sistemática e Bibliometria Utilizando a ferramenta Endnote. **Tutorial**, n. Abril 2014, p. 1–46, 2016b.

FIGUEIREDO, F. J. S. **Diretrizes para implementação dos elementos básicos do lean six sigma em micro, pequenas e médias empresas de calçados**. 2017. 217 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2016.

GIJO, E. V.; SARKAR, A. Application of Six Sigma to improve the quality of the road for wind turbine installation. **TQM Journal**, v. 25, n. 3, p. 244–258, 2013.

GOH, T. N. Future-proofing six sigma. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 30, n. 8, p. 1389–1392, 2014.

HAN, S. H.; CHAE, M. J.; IM, K. S.; RYU, H. D. Six Sigma-Based Approach to Improve Performance in Construction Operations. **Journal of Management in Engineering**, v. 24, n. 1, p. 21–31, 2008.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. Crown Pub, 2005.

HERAVI, G.; JAFARI, A. Cost of Quality Evaluation in Mass-Housing Projects in Developing Countries. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 5, p. 04014004, 2014.

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURIS, S. G. **Applied Statistics for the Behavioral Sciences**, 5th ed. Boston: Houghton Mifflin, 2003.

HUSIN, A. E. Application of PERT and Six Sigma integration on building pile foundation. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 10, n. 1, p. 307–314, 1 jan. 2019.

HUSSAIN, K.; HE, Z.; AHMAD, N.; IQBAL, M.; TASKHEERMUMTAZ, S. M. Green, lean, Six Sigma barriers at a glance: A case from the construction sector of Pakistan. **Building and Environment**, v. 161, n. 3, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 9000**: Sistema de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário. ISO, 2008.

ISA, M. F. M.; USMEN, M. Improving university facilities services using Lean Six Sigma: a case study. **Journal of Facilities Management**, v. 13, n. 1, p. 70–84, 2 fev. 2015b.

JACOBS, B. W.; SWINK, M.; LINDERMAN, K. Performance effects of early and late Six Sigma adoptions. **Journal of Operations Management**, v. 36, p. 244–257, 2015.

JHA, S.; NOORI, H.; MICHELA, J. L. The dynamics of continuous improvement; aligning organisational attributes and activities for quality and productivity. **International Journal of Quality Science**, v. 1, n. 1, p. 19–47, 1996.

JOWWAD, M. S.; GANGHA, G.; INDHU, B. Lean Six Sigma methodology for the improvement of the road construction projects. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 8, n. 5, p. 248–259, 2017.

KAPRE VARAD, B.; SEKAR, S. K. Quality analysis and quality control in building construction with six sigma approach. **Journal of Critical Reviews**, v. 7, n. 11, p. 412–418, 2020.

KORNFELD, B. J.; KARA, S. Project portfolio selection in continuous improvement. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 31, n. 10, p. 1071–1088, 2011.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. **Center for Integrated Facility Engineering**, p. 1–81, 1992.

KOSKELA, L.; BOLVIKEN, T.; ROOKE, J. Which are the wastes of construction? **21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013**, p. 905–914, 2013.

KOZIOŁEK, S.; DERLUKIEWICZ, D. Method of assessing the quality of the design process of construction equipment with the use of DFSS (design for Six Sigma). **Automation in Construction**, v. 22, p. 223–232, 2012.

KURDVE, M.; ZACKRISSON, M.; WIKTORSSON, M.; HARLIN, U. Lean and green integration into production system models - Experiences from Swedish industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 180–190, 2014.

LEE, K.-L.; SU, Y. Applying six sigma to quality improvement in construction. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, n. 4, p. 464–470, out. 2013.

- MAGALHÃES, R. M.; MELLO, L. C. B. DE B.; BANDEIRA, R. A. DE M. Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro. **Gestão & Produção**, v. 25, n. 1, p. 44–55, 2017.
- MAHMOOD, S.; AHMED, S. M.; PANTHI, K.; KURESHI, N. I. Determining the cost of poor quality and its impact on productivity and profitability. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 4, n. 3, p. 296–311, 2014.
- MARZAGÃO, D. S. L.; CARVALHO, M. M. Critical success factors for Six Sigma projects. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 8, p. 1505–1518, 2016.
- MEILING, J.; BACKLUND, F.; JOHANSSON, H. Managing for continuous improvement in off-site construction: Evaluation of lean management principles. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 19, n. 2, p. 141–158, 2012.
- MORALES, S. N.; VALLES, A.; TORRES-ARGUELLES, V.; MARTINEZ, E.; HERNANDEZ, G. Six Sigma improvement project in a concrete block plant. **Construction Innovation**, v. 16, n. 4, p. 526–544, 2016.
- MOREIRA, H.; CALEFFE, L. G. Os Desafios do Ensino da Disciplina de Metodologia da Pesquisa na Pós-Graduação. **Meta: Avaliação**, v. 3, n. 9, p. 244–257, 2011.
- MUKAKA, M. M. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69–71, 2012.
- NAIR, A. Meta-analysis of the relationship between quality management practices and firm performance-implications for quality management theory development. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 6, p. 948–975, 2006.
- NISHAANT, H.; SWETHAA, B.; CHRIS ANTO, L. Concreting for construction-Quality control by six sigma approach. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, v. 8, n. 2S, p. 332–335, 2018.
- OGUZ, C.; KIM, Y. W.; HUTCHISON, J.; HAN, S. H. Implementing lean six sigma: A case study in concrete panel production. 20th Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...**2012.
- PEREIRA, C. DE M.; MOURA, R. C. A. Qualidade Na Construção Civil : Um Estudo De Caso Em Duas Empresas Da Construção Civil. **Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 1, n. 16, p. 147–157, 2013.

- PHENG, L. S.; HUI, M. S. Implementing and Applying Six Sigma in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 130, n. 4, p. 482–489, 2004.
- PICCHI, F. A. Oportunidades da aplicação do lean thinkin na construção. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 1, p. 7–23, 2003.
- PRASHAR, A. Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 63, n. 1, p. 103–126, 2014.
- REGIS, C. T. **Proposta de matriz maturidade para o desenvolvimento do lean six sigma em organizações**. 2015. 73 p. Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica. Universidade Estadual Paulista, 2015.
- SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. Visualization of work flow to support lean construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 12, p. 1307–1315, 2009.
- SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas**. Bookman, 1988.
- SNEE, R. Impact of Six Sigma on Quality Engineering. **Quality Engineering**, v. 12, n. 3, p. 9–14, 2000.
- SPECTOR, B.; BEER, M. Beyond TQM Programmes. **Journal of Organizational Change Management**, v. 7, n. 2, p. 63–70, 1994.
- SREEDHARAN, R. V.; SUNDER, V. M.; RAJU, R. Critical success factors of TQM, Six Sigma, Lean and Lean Six Sigma: A literature review and key findings. **Benchmarking**, v. 25, n. 9, p. 3479–3504, 2018.
- STREINER, D. L. Starting at the beginning: An introduction to coefficient alpha and internal consistency. **Journal of Personality Assessment**, v. 80, n. 1, p. 99–103, 2003.
- TANER, M. T. Critical Success Factors for Six Sigma Implementation in Large-scale Turkish Construction Companies. **International Review of Management and Marketing**, v. 3, n. 4, p. 212–225, 2013.
- TCHIDI, M. F.; HE, Z.; LI, Y. B. Process and quality improvement using Six Sigma in construction industry. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 18, n. 2, p. 158–172, 2012.
- TERRY, L.; KELLEY, K. Sample size planning for composite reliability coefficients: Accuracy in parameter estimation via narrow confidence intervals. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 65, n. 3, p. 371–401, 2012.

TERWEE, C. B.; BOT, S. D. M.; BOER, M. R.; VAN DER WINDT, D. A. W. M.; KNOL, D. L.; DEKKER, J.; BOUTER, L. M.; VET, H. C. W. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 60, n. 1, p. 34–42, 2007.

TEZEL, A.; KOSKELA, L.; AZIZ, Z. Current condition and future directions for lean construction in highways projects: A small and medium-sized enterprises (SMEs) perspective. **International Journal of Project Management**, v. 36, n. 2, p. 267–286, 2018.

TOLEDO, J. C.; GONZALEZ, R. V. D.; LIZARELLI, F. L.; PELEGRINO, R. A. Lean production system development through leadership practices. **Management Decision**, v. 57, n. 5, p. 1184–1203, 2019.

TRAD, S.; MAXIMIANO, A. C. A. Seis sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 13, n. 4, p. 647–662, 2009.

ULLAH, F.; TAHHEEM, M. J.; QAYYUM, S.; KHURSHID, B. K. Influence of Six Sigma on project success in construction industry of Pakistan. **TQM Journal**, v. 29, n. 2, p. 276–309, 2017.

VAN DEN BOS, A.; KEMPER, B.; VAN DONGEN, J. P. W.; KRUTE, M. S. Generic Lean Six Sigma project definitions for the construction industry. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 8, n. 3–4, p. 257–273, 2014.

VAN DEN BOS, A.; KEMPER, B.; DE WAAL, V. A study on how to improve the throughput time of lean six sigma projects in a construction company. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 2, p. 212–226, 2014.

VIVAN, L.; PALIARI, C.; NOVAES, C. C. **Vantagem produtiva do Sistema Light Steel Framing: da Construção Enxuta à Racionalização Construtiva**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 13, 2010, Canela. **Anais...**2010.

YAMAMOTO, L. S.; SERRA, S. M. B. Modelo avaliativo de aplicação do Lean Six Sigma em empresas construtoras. XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**Porto Alegre: 2020.

Apêndice A – Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

Buscando identificar as principais publicações e estudos pertinentes ao tema apresentado na dissertação, optou-se por realizar a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) do tema central da pesquisa, sendo a aplicação do Seis Sigma na construção civil. Isso foi realizado devido à necessidade de estudar de maneira metodológica e bem definida o tema que ainda está em fase de desenvolvimento na construção civil com o objetivo final de construir uma base argumentativa sólida quanto ao estado da arte do núcleo temático da pesquisa aqui apresentada.

A RSL aqui apresentada segue o método do *Systematic Search Flow* (SSF) desenvolvido por Ferenhof e Fernandes (2016) que segue os princípios apontados por Jesson, Matheson e Lacey (2011) apresentados no Quadro 16.

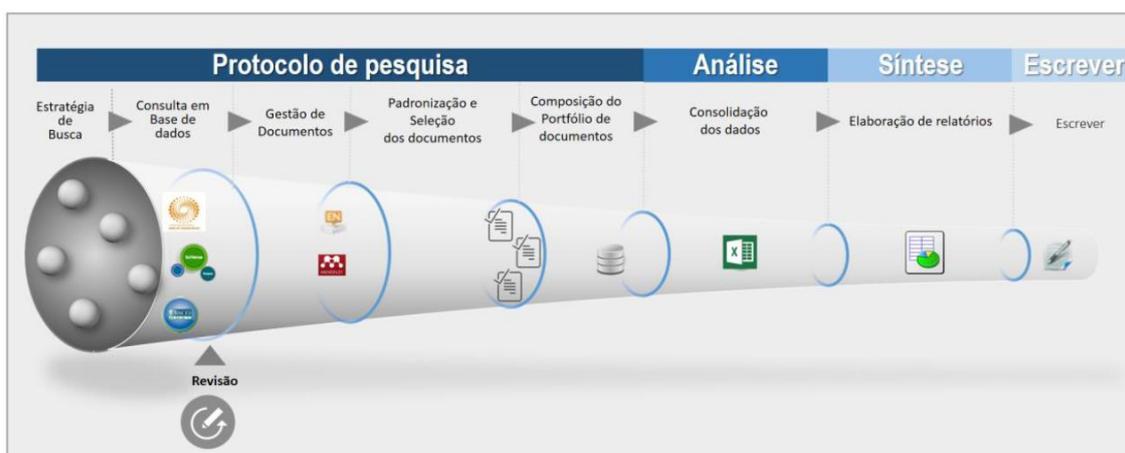
Quadro 16: Estruturação do método *Systematic Search Flow* (SSF)

Princípios de Jesson; Matheson e Lacey (2011)	Estruturação do Método SSF
Estratégia	Mapeamento do campo mediante uma revisão de escopo
Consulta em base de dados	Pesquisa exaustiva
Organiza as bibliografias, padronizar a seleção dos artigos	Avaliação da qualidade, que compreende a leitura e seleção dos trabalhos
Composição do portfólio de artigos, consolidação dos dados	Extração de dados, que se refere à coleta e captura de dados relevantes em uma planilha de pré-concebida.
Síntese e elaboração de relatórios	Síntese, que compreende na síntese dos dados extraídos para mostrar o que é conhecido e fornece a base para o estabelecer o desconhecido
Escrever	Escrever

Fonte: Ferenhof e Fernandes (2016)

O método apresentado e utilizado como base metodológica para a revisão sistemática da literatura pode ser representado pela Figura 32, na qual é possível observar as etapas da pesquisa inseridas em macro etapas denominadas de “Protocolo de Pesquisa”, “Análise”, “Síntese” e “Escrever”.

Figura 32: Método *Systematic Search Flow (SSF)*



Fonte: Ferenhof e Fernandes (2016)

A primeira etapa, estratégia de busca, foi realizada por meio de recomendação dos autores do método utilizado em um artigo que realiza um tutorial para a RSL (FERENHOF; FERNANDES, 2016), no qual indica-se a necessidade de palavras-chave adequadas para a busca, além das bases de dados escolhidas para a pesquisa. Utilizou-se a base de dados *Scopus* como pesquisa piloto, visto que os autores do método recomendam tal banco de dados por “ter uma inteligência na indexação de artigos e por ser interdisciplinar”. Após algumas tentativas e testes quanto às palavras-chave a serem escolhidas, optou-se pelas seguintes: *six sigma*, *lean construction* e *construction*. Ressalta-se que a pesquisa pode parecer abrangente em relação aos *inputs* apresentados, no entanto, deve-se lembrar que o tema abordado na dissertação ainda é recente nas atividades da construção civil, possibilitando uma busca mais generalizada do assunto.

O portal Periódico CAPES possibilitado o acesso a diversas plataformas de literatura científica mundial. Sendo assim, possibilitou-se a escolhas das bases de dados que seguem: *Scopus*, *Web of Science*, *EBSCO*, *Engineering Village* e *IGLC* (anais dos encontros do *International Group for Lean Construction*). Deve-se destacar que poucos foram os artigos encontrados na base *Scielo*, dentro os quais nenhum se encaixava na temática proposta, impossibilitando sua análise. Os resultados provenientes das buscas estão

apresentados a seguir pelo Quadro 17, sendo encontrado por meio de pesquisa bibliográfica o total de 369 artigos.

Quadro 17: Pesquisas nas bases de dados indicadas

Base	Palavras-Chave	Nº artigos na base
Scopus	six sigma AND ("lean construction" OR construction)	75
Web of Science	six sigma AND ("lean construction" OR construction)	52
EBSCO	six sigma AND ("lean construction" OR construction)	150
Engineering Village	six sigma AND ("lean construction" OR construction)	86
IGLC	six sigma AND ("lean construction" OR construction)	6
Total		369

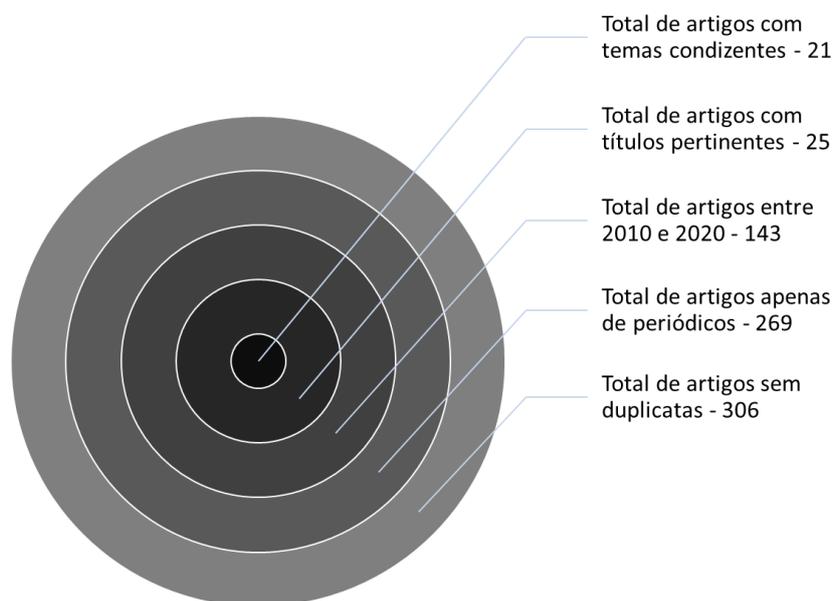
Fonte: Autor (2021)

Os resultados apresentados pelo Quadro 17 excluem na própria fonte de dados os arquivos não publicados em periódicos (livros, capítulos de livros, congressos, entre outros), refinando a busca desde o início.

A seleção dos artigos encontrados seguiu um método pré-estabelecido que objetiva a leitura e posterior referência de textos avaliados por pares em periódicos, recentes em relação à dissertação e pertinentes com o tema central da pesquisa.

Sendo assim, decidiu-se realizar os filtros da maneira apresentada na Figura 33. Cabe indicar que a coleta de artigos foi realizada por meio do auxílio do software Mendley® proporcionando uma melhor gestão dos documentos. Posteriormente à captação e gerenciamento dos arquivos, utilizou-se o MS Excel® para a seleção fina dos artigos e geração de quadros e gráficos dos dados elencados.

Figura 33: Método de filtragem dos documentos



Fonte: Autor (2021)

Como é possível visualizar pela figura, foram realizados filtros pontuais os quais estão justificados a seguir:

- Artigos não duplicados: Visto que diversos artigos foram encontrados em mais de uma base de dados, realizou-se, por meio do auxílio do Mendeley® e do Excel®, a exclusão de duplicatas selecionando como parâmetro único o título do artigo, totalizando após tal etapa 306 artigos;
- Artigos de periódicos científicos: Ainda que o filtro nos bancos de dados contemplasse a exclusão dos artigos não provenientes de periódicos, diversos foram encontrados em tais sites. Sendo assim, foi aplicado novamente o mesmo filtro que permitisse apenas a visualização de artigos publicados em periódicos e/ou nos congressos promovidos pelo IGLC. O número de artigos após essa consideração foi 269;
- Artigos publicados entre 2010 e 2020: A fim de reforçar a relevância atual do tema, buscando base argumentativa recente, realizou-se o filtro temporal, buscando apenas artigos publicados no intervalo de anos mencionado, totalizando ao final da filtragem 143 artigos;
- Artigos com títulos pertinentes: Ainda que a escolha das palavras-chave tenha sido criteriosa, diversos artigos provenientes da indústria de

manufatura foram encontrados. Além disso, alguns outros apenas continham uma breve explicação em seu corpo de texto, mas com temática distante da desejada. Após a eliminação desses artigos, totalizou-se 25 publicações;

- Artigos com temas condizentes: Por fim, após a leitura dos títulos na etapa anterior, foram lidos os resumos e conclusões dos artigos restantes. Sendo assim, entendeu-se que 21 publicações eram condizentes com o tema central dessa dissertação, sendo esses os escolhidos para a análise sistemática da literatura.

Após intensa seleção de artigos, iniciou-se a leitura dos selecionados, estando esses apresentados pelo Quadro 18.

Quadro 18: Dados dos artigos selecionados para leitura

Nº do Artigo	Autores	Título	Publicação	Ano
1	OGUZ et al.	Implementing Lean Six Sigma: A case study in concrete panel production	20th Conference of the International Group for Lean Construction	2012
2	MORALES, S. N. et al.	Six Sigma improvement project in a concrete block plant	Construction Innovation	2016
3	HUSIN, A. E.	Application of PERT and Six Sigma integration on building pile foundation	International Journal of Civil Engineering and Technology	2019
4	JOWWAD, M.; GANGHA, G.; INDHU, B.	Lean Six Sigma methodology for the improvement of the road construction projects	International Journal of Civil Engineering and Technology	2017
5	BANAWI, A.; BILEC, M.	A framework to improve construction processes: Integrating lean, green and Six Sigma	International Journal of Construction Management	2014
6	NISHAANT; SWETHAA; CHRIS ANTO	Concreting for construction- Quality control by Six Sigma approach	International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering	2018
7	AL-AOMAR, R.	A lean construction framework with Six Sigma rating	International Journal of Lean Six Sigma	2012
8	ALDAIRI, J.; KHAN, M.; MUNIVE-HERNANDEZ, J.	Knowledge-based Lean Six Sigma maintenance system for sustainable buildings	International Journal of Lean Six Sigma	2017
9	DAKHILI, Z.; LAFHAJ, Z.; BOS, A.	Experiencing Lean Six Sigma in the French residential construction: Setting effective performance indicators to address client satisfaction	International Journal of Lean Six Sigma	2016

Nº do Artigo	Autores	Título	Publicação	Ano
10	VAN DEN BOS, A.; KEMPER, B.; DE WAAL, V.	A study on how to improve the throughput time of Lean Six Sigma projects in a construction company	International Journal of Lean Six Sigma	2014
11	VAN DEN BOS et al.	Generic Lean Six Sigma project definitions for the construction industry	International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage	2014
12	TCHIDI, M. F.; HE, Z.; LI, Y. B.	Process and quality improvement using Six Sigma in construction industry	Journal of Civil Engineering and Management	2012
13	ISA, M.; USMEN, M.	Improving university facilities services using Lean Six Sigma: a case study	Journal of Facilities Management	2015
14	Lee, Kuo-Liang Liang	Applying Six Sigma to quality improvement in construction	Journal of Management in Engineering	2013
15	EOM, S. J.; JANG, W. S.; KIMS. C.	Managing concrete crack information through correction of the slab rebar arrangement based on Six Sigma	KSCE Journal of Civil Engineering	2015
16	ANDERSON, N. C.; KOVACH, J. V.	Reducing welding defects in turnaround projects: A Lean Six Sigma case study	Quality Engineering	2014
17	GIJO, E. V.; SARKAR, A.	Application of Six Sigma to improve the quality of the road for wind turbine installation	TQM Journal	2013
18	ULLAH, F. et al.	Influence of Six Sigma on project success in construction industry of Pakistan	TQM Journal	2017
19	BRAVO, M.; EUPHROSIN O, C. A.; FONTANINI, P. S. P.	DMAIC manual for an integrated management system: application in a construction company	28th Conference of the International Group for Lean Construction	2020
20	VARAD, B. K.; SEKAR, S. K.	Quality analysis and quality control in building construction with Six Sigma approach	Journal of Critical Reviews	2020
21	BANAWI, A.; BESNÉ, A.; FONSECA, D.; FERRANDIZ, J.	A Three Methods Proactive Improvement Model for Buildings Construction Processes	Sustainability	2020

Fonte: Autor (2021)

Além disso, também foram encontrados artigos de referência cruzada, sendo esses definidos pela grande recorrência nas referências bibliográficas dos artigos selecionados pela metodologia da RSL. O Quadro 19 apresenta os artigos citados.

Quadro 19: Artigos provenientes da referência cruzada

Nº do Artigo	Autores	Título	Publicação	Ano
RC-1	PHENG, L. S.; HUI, M. S.	Implementing and Applying Six Sigma in Construction	Journal of Construction Engineering and Management	2004
RC-2	HAN S. H. et al.	Six Sigma-Based Approach to Improve Performance in Construction Operations	Journal of Management in Engineering	2008

Fonte: Autor (2021)

Deve-se indicar que os artigos da referência cruzada são de extrema pertinência para o tema, no entanto não foram escolhidos pela revisão sistemática devido ao ano de publicação não estar nas especificações desejadas. Deve-se destacar que os artigos apresentados no Quadro 19 são de grande importância para o entendimento inicial do LSS na construção civil, visto o caráter pioneiro desses.

A seguir, serão apresentados os dados quantitativos e qualitativos referentes às publicações encontradas após a revisão sistemática da literatura. Os dados indicados têm o objetivo de fornecer não apenas informações pertinentes sobre o estado da arte do tema relacionado com a pesquisa, mas também fortalecer a base argumentativa sobre a escolha do tema central e os direcionamentos da pesquisa da dissertação.

Inicia-se a análise dos artigos por meio dos anos de publicação, buscando analisar a pertinência do tema no meio acadêmico ao longo dos anos, como apresentado pela Figura 34. Como mencionado, apenas os artigos entre o ano de 2010 e 2020 foram selecionados, para que temas atuais frente a estudos e mercados fossem levantados.

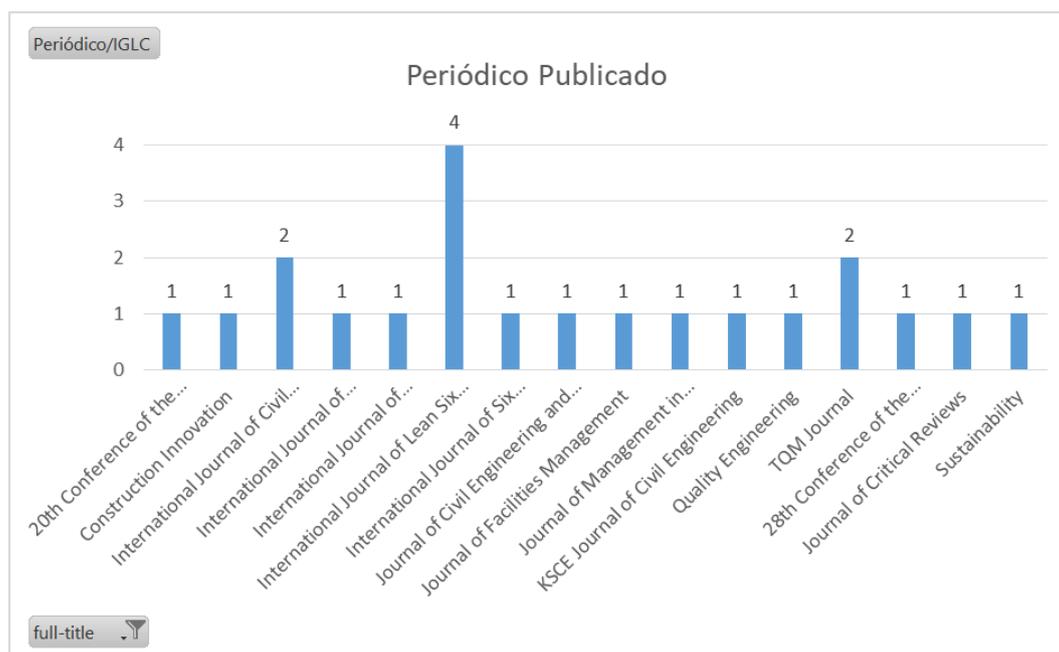
Figura 34: Anos das publicações dos artigos

Fonte: Autor (2021)

Observa-se uma certa oscilação no número de publicações ao decorrer dos anos, com pico no ano de 2014 e números mais altos em 2012 e 2017. Ainda que nos anos mais recentes as publicações tenham diminuído, a oscilação observada pode indicar algum crescimento novamente nos próximos anos. Ainda assim, é importante ressaltar que apenas os artigos mais relevantes para a dissertação foram escolhidos, portanto tais números representam um universo de publicações restrito.

Com tais dados em mãos, analisou-se a quantidade e posteriormente a qualidade dos periódicos (ou congresso do IGLC) nos quais foram realizadas as publicações. A Figura 35 apresenta os dados quantitativos referentes às revistas científicas onde foram encontrados os artigos em questão.

Figura 35: Quantidade de publicações em cada periódico

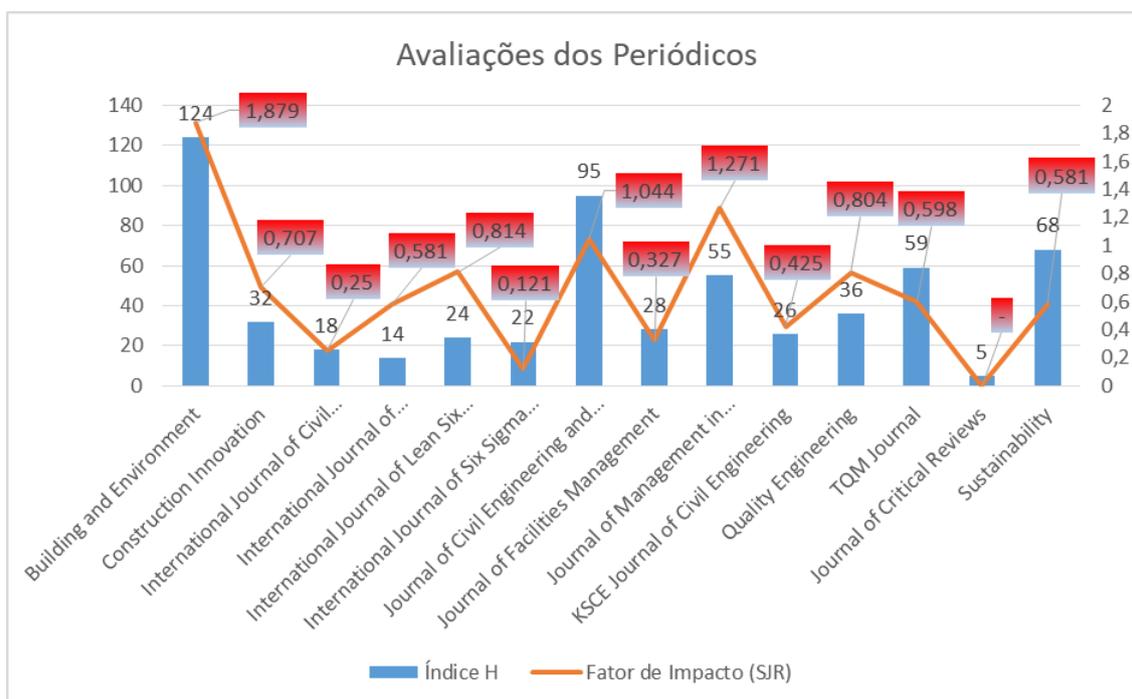


Fonte: Autor (2021)

Percebe-se um destaque principal do “*International Journal of Lean Six Sigma*” com quatro publicações, sendo esse um periódico pertencente à editora *Emerald Group Publishing Ltda.* baseada no Reino Unido e com grande destaque para a área de gerenciamento da qualidade de modo geral. Além disso é pertinente destacar o “*International Journal of Civil Engineering and Technology*” e o “*TQM Journal*” com duas publicações cada.

Cada um dos periódicos sofreu uma pesquisa em relação aos seus índices de destaque acadêmico quanto à qualidade de suas publicações, sendo os dados apresentados pela Figura 36.

Figura 36: Avaliações dos periódicos

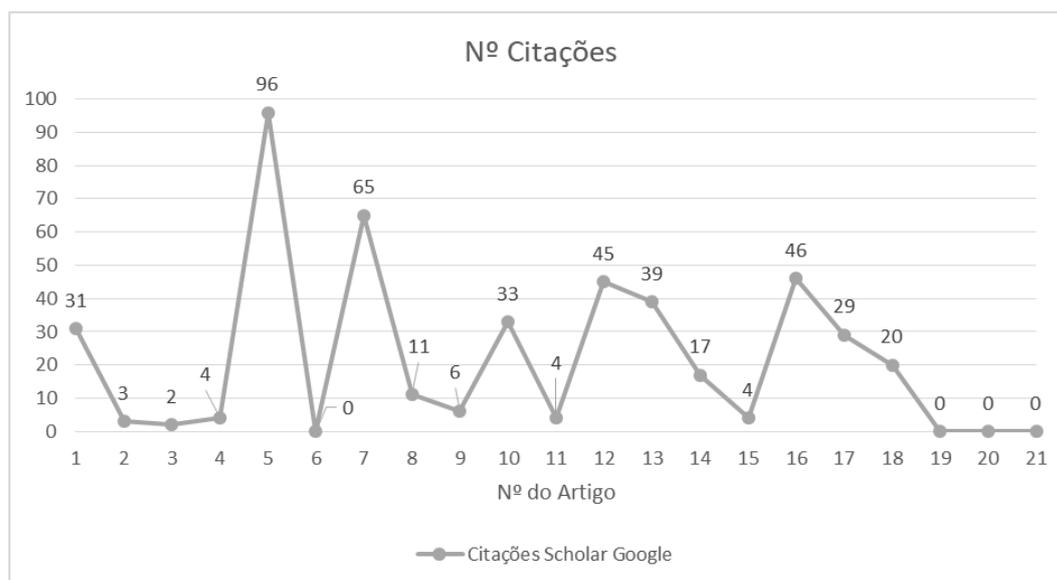


Fonte: Autor (2021)

As avaliações foram realizadas por meio do Índice H, que basicamente representa o número de artigos que possuem citações maiores ou iguais ao mesmo número. Também foram realizados os levantamentos dos fatores de impacto (SJIR), o qual busca medir a influência de uma revista científica com base na visibilidade e número de citações recebidas e ponderadas nos últimos 3 (três) anos em relação ao ano da avaliação. Deve-se, portanto, citar os periódicos com maior avaliação na pesquisa realizada, sendo eles o *“Building and Environment”*, *“Journal of Civil Engineering and Management”*, *“Journal of Management in Engineering”* e *“TQM Journal”*. Apenas o último periódico citado se destaca tanto na quantidade de artigos encontrados como em relação à qualidade dos artigos.

Qualitativamente, também é possível analisar a qualidade de cada artigo por meio da quantidade de citações elencadas pelo Scholar Google®, como ilustrado pela Figura 37.

Figura 37: Número de citações pelo Scholar Google



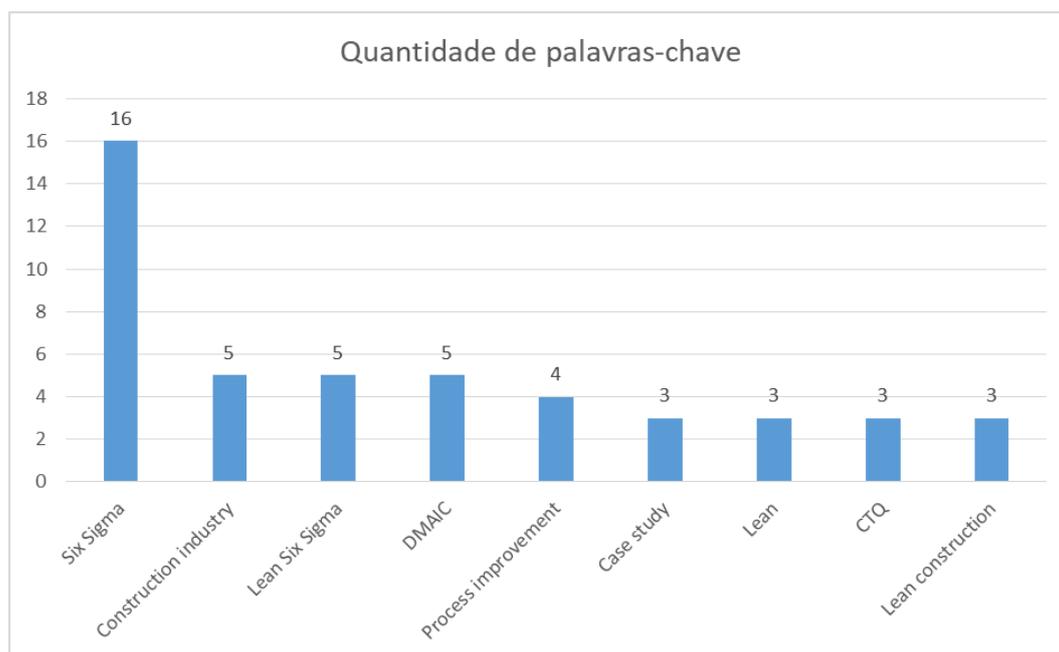
Fonte: Autor (2021)

Os números dos artigos correspondem aos números apresentados no Quadro 18 e foram utilizados por motivos de praticidade e conforto visual na apresentação dos dados da imagem.

Em tal quesito, cabe destaque a dois artigos: “*A framework to improve construction processes: Integrating lean, green and six sigma*” (96 citações / *International Journal of Construction Management*) e “*A lean construction framework with six sigma rating*” (65 citações / *International Journal of Lean Six Sigma*). Um fato curioso é que ambas as publicações não pertencem aos periódicos destacados anteriormente com os melhores índices encontrados, porém o meio acadêmico entende sua importância em relação ao tema.

Deve-se destacar também que os artigos publicados no ano de 2020 ainda não possuem nenhuma citação registrada no Scholar Google, o que pode ser uma consequência dos poucos meses disponíveis para que outra publicação fosse registrada com as citações.

Por fim, cabe um estudo qualitativo e quantitativo quanto aos temas presentes nos artigos lidos. Realizou-se uma análise de todas as palavras-chave presentes nos textos apresentados, totalizando 58 palavras-chave diferentes. Sendo assim, decidiu-se apenas apresentar as palavras mais recorrentes e, conseqüentemente, de maior importância por meio da Figura 38.

Figura 38: Quantidade de palavras-chave mais recorrentes

Fonte: Autor (2021)

Como é possível observar, apenas nove palavras que apareceram três ou mais vezes na pesquisa realizada. Além disso, “*Six Sigma*” apresenta grande destaque, até mesmo por ter sido uma das palavras inseridas nos campos de pesquisa das bases de dados, assim como “*Lean Six Sigma*”. É relevante salientar a presença de palavras como “*Process improvement*” (melhoria do processo) e “*CTQ*” (críticas para a qualidade) que reforçam os conceitos apresentados e estudados. Também deve ser realçado a forte presença do DMAIC que é base não apenas de diversos estudos, mas também da dissertação aqui presente, corroborando com a necessidade de análises frente a tal ciclo de melhoria.

Apêndice B – Perguntas abertas do questionário piloto

Quantas pessoas trabalham na obra, tanto no gerenciamento quanto na execução?

Qual o sistema construtivo da edificação?

Quando a obra iniciou e qual a previsão de término?

Qual o objetivo da edificação?

Quanto compõe a equipe de qualidade e como ela é definida em cada obra?

Quais os procedimentos da equipe da qualidade?

Quais os documentos gerados pela equipe da qualidade? Como são documentados?

Como a política de qualidade está documentada? Todos têm acesso a ela?

Há organograma das equipes de gerenciamento?

Como é feito o monitoramento da obra e do SQG?

Apêndice C – Questionário de aplicação da melhoria contínua na construção civil por meio dos princípios do Seis Sigma

O formulário a seguir busca avaliar a aplicação de um sistema de melhoria contínua dentro das empresas construtoras brasileiras, tendo como base a avaliação dos princípios do Seis Sigma. Os pesquisadores buscam com tal pesquisa identificar o grau de aplicação da melhoria contínua na indústria da construção civil por meio de avaliações empíricas de profissionais do setor.

A pesquisa aqui apresentada foi previamente avaliada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos (CEP - UFSCar), registrada pelo número 31558220.8.0000.5504, comitê esse que representa a submissão na Plataforma Brasil, sistema nacional de submissão de pesquisa com envolvimento humano.

Ressalta-se que os dados pessoais aqui captados não serão divulgados sem a autorização prévia dos entrevistados. As respostas serão acessadas apenas pelos pesquisadores, possibilitando a resposta aberta e transparente de todos os participantes. As empresas também não serão prejudicadas de nenhuma maneira, visto que nenhum nome será divulgado, sendo de pessoa física ou jurídica.

Desde já, agradecemos pela participação e pela contribuição no desenvolvimento da pesquisa brasileira.

Att.

Eng. Lucio Schiavon Yamamoto

Prof. Dr^a. Sheyla Mara Baptista Serra

- Caracterização

Tal etapa da pesquisa tem como objetivo identificar as características do avaliador e da empresa empregadora, buscando entender a correlação entre as qualificações apresentadas na seção e as respostas na seção posterior. Deve-se ressaltar que o sigilo da pesquisa é garantido tanto ao nome do funcionário quanto ao da empresa, sendo que nenhum dado será divulgado sem a permissão prévia.

- 1- Nome da Empresa
- 2- Local da empresa e/ou obra em que está atuando
- 3- Tamanho da empresa em que trabalha
- 4- Formação
- 5- Qual a profissão listada abaixo que mais se assemelha com a sua profissão atual?
- 6- Tempo de experiência na área em anos
- 7- Qual a área de atuação da sua empresa?
- 8- A empresa em que trabalha possui algum certificado de qualidade?
- 9- A empresa em que atua possui departamento de qualidade?
- 10- A empresa em que atua possui um responsável pela qualidade em cada obra?
- 11- Marque as opções de auditoria da qualidade realizadas na empresa/obra em que atua
- 12- A empresa utiliza algum documento como Ficha de Verificação de Serviço (FVS) para controle e aprovação das atividades?
- 13- Os dados de controle dos serviços são armazenados? Se sim, em qual local?
- 14- Os dados de controle dos serviços são tratados? Se sim, como?
- 15- A empresa usa sistema de gerenciamento eletrônico dos dados coletados do setor de qualidade?

Se dados informados são relacionados com obra específica:

- 16- Cidade da obra/estado:
- 17- Data de início:

18-Duração prevista (meses):

19-Tamanho do terreno (m2):

20-Tamanho do empreendimento (m2):

21-Tipo de obra: residencial, comercial, industrial, pública

22-Quantidade de operários presentes na obra (estimativa): até 20; de 21 a 50; de 51 a 80; de 81 a 100; de 101 a 150; entre 151 e 499; mais de 500

- Avaliação da característica atual da empresa

As questões foram distribuídas de forma aleatória com o intuito de não influenciar de alguma maneira as respostas dos avaliadores. Também não foram apresentadas as classes das questões com a mesma justificativa. A escala possui apenas as avaliações mais ao extremo, visando basear o avaliador em sua nota, porém sem engessar a interpretação pessoal.

As questões são acompanhadas de uma escala que varia de 1 (um) a 5 (cinco), sendo que apenas os extremos são qualitativamente explicados. Isso ocorre buscando nortear o avaliador, apresentando os significados da nota 1 e da nota 5, sem enrijecer a avaliação empírica das notas mais centrais.

Quadro 20: Questionário de aplicação dos princípios do Seis Sigma

Questões	Atendimento do item				
	1	2	3	4	5
1 - Envolvimento e comprometimento da média e alta liderança					
1.1 Definição por parte da liderança das equipes diretamente ou indiretamente responsáveis ao sistema de gestão da qualidade (1 – Não há nenhum tipo de definição bem descrita com a relação de cargos e responsabilidades / 5 – Há definição clara e pertinente com a descrição e manutenção de todas as responsabilidades)					
1.2 Critérios para contratação de pessoal (1 – Contratação sem parâmetros definidos além dos legais / 5 – Perfis traçados por meio de colaboração dos gestores com o departamento responsável para a definição do melhor profissional possível)					
1.3 Avaliação interna constante sobre o sistema de gestão da qualidade (1 – Sistema de gestão da qualidade imutável e distante de discussões / 5 – Constante análise do sistema por meio de ações que promovam o engajamento de todas as hierarquias)					
1.4 Sistema de incentivos (financeiros ou motivacionais) voltados ao desenvolvimento da gestão da qualidade na empresa (1 – Não há nenhum sistema de incentivo / 5 – Sistema de incentivo ao desenvolvimento proativo de ferramentas e processos que contribuam para a melhoria da qualidade)					

Questões	Atendimento do item				
	1	2	3	4	5
1.5 Definição, por parte da liderança, das metas a serem alcançadas (1 – Sem definições claras e precisas das metas / 5 – Definição aprofundada das metas parciais e finais, além de intensa divulgação dos números desejados)					
2. Treinamento e reconhecimento dos recursos humanos					
2.1 Identificação e tratamento de riscos de saúde e segurança (1 – Não há nenhum mapeamento dos riscos presentes em cada obra / 5 – Há o total controle de todos os riscos de saúde e segurança, além de indicadores pertinentes e treinamentos regulares para conscientização)					
2.2 Avaliação de desempenho dos recursos humanos (1 – Não é realizada avaliação constante dos colaboradores e não há plano de desenvolvimento dos funcionários/ 5 – Avaliação perene e bem definida dos colaboradores mantendo um plano de desenvolvimento do funcionário)					
2.3 Implementação da cultura de feedback interno individual (1 – A equipe não recebe nenhum tipo de retorno quanto à sua atuação na obra / 5 – Há um sistema da avaliação dos funcionários bem estruturado com constantes avaliações e transparência)					
2.4 Há treinamento de pessoal (1 – Os funcionários não recebem treinamentos técnicos para o desenvolvimento de suas atividades / 5 – Os funcionários são constantemente treinados e avaliados nos treinamentos para desenvolvimento contínuo das atividades)					
2.5 A empresa desenvolve sistemas de incentivo (1 – Não há nenhum sistema de incentivo implementado / 5 – Há sistema bem definido com participação nos lucros e resultados, convênio médico, parcerias, vales, etc.)					
3 - Coleta e análise estatística de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade					
3.1 Planejamento de atividades e de operações com o respectivo dimensionamento das equipes (1 – As equipes são definidas de acordo com a demanda diária, sem planejamento formal / 5 – É realizado um planejamento formal para o dimensionamento das equipes visando diminuição de atrasos e tempos ociosos e, conseqüentemente, da variabilidade do tempo de produção)					
3.2 Medição de serviços executados por meio de indicadores qualitativos/quantitativos bem definidos (1 – Não há padronização e indicadores qualitativos/quantitativos definidos para a aprovação de cada serviço / 5 – Todos os serviços têm especificações e indicadores qualitativos/quantitativos de execução e medições regulares)					
3.3 Medição e controle dos tempos das atividades de conversão (produção) por meio de indicadores qualitativos/quantitativos bem definidos (1 – Sem avaliação da produtividade por meio dos tempos de execução / 5 - Medições dos tempos de execução para análise de produtividade constante e diminuição da variabilidade do tempo de ciclo das atividades)					
3.4 Medição e controle dos tempos das atividades de fluxo (atividades que não agregam valor) por meio de indicadores qualitativos/quantitativos bem definidos					

Questões	Atendimento do item				
	1	2	3	4	5
(1 – Sem avaliação da produtividade por meio dos tempos de fluxo / 5 - Medições dos tempos de fluxo para análise de produtividade constante e diminuição da variabilidade do tempo de ciclo das atividades)					
3.5 Simulação computacional das atividades e dos fluxos (1 – Não há nenhuma simulação computacional numérica dos fluxos e conversões da obra / 5 – O planejamento é baseado em simulações computacionais para entender os gargalos de produção no canteiro de obras)					
3.6 Busca da simplificação das atividades (redução do número de processos e partes) (1 – Não há definição por parte do Sistema de Gestão da Qualidade / 5 – Reavaliação constante das partes construtivas visando a otimização do processo e diminuição de variabilidades em obra)					
3.7 Controle tecnológico e aceitação/recusa dos materiais e componentes recebidos em obra (1 – Os materiais não passam por controle tecnológico quando recebidos / 5 – Todos os materiais passam por rigoroso controle de acordo com a norma vigente analisando os parâmetros físicos por meio de controle estatístico)					
3.8 Controle tecnológico e aceitação/recusa dos materiais e componentes produzidos em obra (1 – Os materiais não passam por controle tecnológico quando produzidos in loco / 5 – Todos os materiais passam por rigoroso controle de acordo com a norma vigente analisando os parâmetros físicos por meio de controle estatístico)					
3.9 Estabelecimento de limites de especificação superiores e inferiores de controle aceitáveis dos serviços da obra (controle de processo definido) (1 – Realização dos serviços sem especificações delimitadas / 5 – Reavaliação constante dos indicadores de produção visando a diminuição de desperdícios físicos e de tempo gerando confiabilidade no planejamento por meio de limites de especificação)					
3.10 Controle de aceitação de erros e defeitos (1 – Não é avaliada uma possível alta incidência de defeitos e/ou erros nos processos produtivos / 5 – Os defeitos têm limite de recorrência e são avaliados os processos e responsáveis quando tais limites são ultrapassados)					
3.11 Realização de tratamento e análise estatística dos produtos e processos (1 – Não há nenhum tratamento ou análise estatística / 5 – Tratamento de dados e análises estatísticas para confecção de cartas de controle e possíveis tomadas de decisões estratégicas sobre o processo)					
4- Desenvolvimento e busca por melhoria contínua					
4.1 Utilização de ciclos de análise e melhoria contínua de oportunidades de melhoria que surgem ao longo da obra (1 – As oportunidades de melhoria não são tratadas individualmente ou em grupos pertinentes / 5 – Todas as oportunidades de melhoria passam por análises cíclicas com etapas bem definidas de diagnóstico e prognóstico, possibilitando o incremento constante da melhoria nos produtos e/ou processos)					

Questões	Atendimento do item				
	1	2	3	4	5
4.2 Medição do desempenho do sistema de gestão da qualidade (1 – Não existem avaliações internas sobre a eficiência do sistema de gestão da qualidade / 5 – Há constante reavaliação do sistema de gestão de qualidade visando a melhoria contínua e o alcance dos objetivos elencados pela liderança)					
4.3 Programa de seleção e qualificação de fornecedores de materiais e equipamentos (1 – Contratação sem base histórica dos fornecedores / 5 – Análise por meio de método bem definido dos fornecedores visando prazo, custo e qualidade dos insumos)					
4.4 Implementação da prática de recebimento de feedback externo por parte dos clientes finais (1 – O cliente final não possui nenhuma ferramenta de avaliação da equipe e produto da empresa construtora / 5 – Há um sistema de avaliação da equipe e produto bem estruturado com transparência)					
4.5 Melhorar e atualizar a forma de documentação (1 – Não existe documentação do Sistema de Gestão da Qualidade / 5 – Melhoria constante do sistema de documentação com avaliações periódicas por parte da equipe)					
4.6 Implementação de ações para prevenir erro humano (1 – Os erros não são estudados / 5 – Os erros ocorridos passam por análise conjunta de interessados para desenvolvimento de técnica ou ferramenta que o previna futuramente)					
4.7 Realização de auditorias internas para controle da qualidade (1 – Não há a realização de auditorias internas para o controle da qualidade / 5 – Auditorias bem estruturadas e planejadas com recomendações e datas padronizadas)					
4.8 Análise dos indicadores de sustentabilidade na obra (resíduos, água e energia) (1 – Não são analisados e estudados os valores dos indicadores sustentáveis / 5 – Avaliação qualitativa e quantitativa dos indicadores sustentáveis com objetivo de diminuição estratégica em empreendimentos futuros)					
5- Ferramentas qualitativas para a análise de problemas					
5.1 Definição das atividades críticas para a qualidade (1 – As atividades não possuem classificação nem análise quanto a sua importância / 5 – As atividades são analisadas e entende-se quais são as mais relevantes para a qualidade do produto final)					
5.2 Utilização de ferramentas da qualidade para resolução de problemas e elencar oportunidades de melhoria, tais como diagrama de Pareto, diagrama de espinha de peixe, 5W2H, fluxogramas de processos, histogramas, entre outros (1 – Nenhuma ferramenta supracitada é utilizada / 5 – A grande maioria das ferramentas são utilizadas periodicamente)					
5.3 Confeção e manutenção de Manual da Qualidade (1 – Não há diretrizes pautadas e documentadas para o gerenciamento da qualidade / 5 – Há manual bem definido no qual há a relação das responsabilidades de cada ator, além dos requisitos a serem cumpridos)					
5.4 Análise das causas dos problemas de execução (1 – Os problemas não são estudados / 5 – Os problemas passam por profunda análise por meio de ferramentas da qualidade buscando identificar a causa raiz a fim de eliminá-la posteriormente)					

Questões	Atendimento do item				
	1	2	3	4	5
5.5 Análise da criticidade dos problemas (1 – Os problemas não são avaliados e/ou classificados de acordo com a sua criticidade para a tarefa e obra em geral / 5 – Todos os problemas são analisados em termos de criticidade e a fim de entender o impacto na atividade que está diretamente relacionado e com a obra em si por meio de matrizes de risco como o FMEA)					
6- Foco no cliente final					
6.1 Definição dos clientes finais (1 – Não é realizado um levantamento dos clientes finais e suas características / 5 – Define-se um plano para atendimento total dos requisitos dos clientes finais)					
6.2 Medição do grau de satisfação do cliente final ao longo do processo de construção (1 – Não há nenhuma medição com os clientes finais para avaliação da satisfação / 5 – São realizadas ações para medir o grau de satisfação, sendo por meio de questionários ou outras medidas)					
6.3 Sistema formal de avaliação do grau de satisfação do cliente final após a entrega (1 – Não é feito um acompanhamento posterior à entrega do imóvel / 5 – Acompanhamento constante e proativo para identificar as necessidades dos clientes não atendidas)					
6.4 Análise estratégica dos problemas dos processos (construção) e produtos (patologias) elencadas pelos clientes finais (1 – Os problemas não são estudados / 5 – Os planejamentos são realizados com análise prévia das atividades que não atingiram o grau de satisfação esperado)					
6.5 Realização de projeto "As Built" ao final da obra (1 – Não há a realização do documento ao final da obra / 5 – Realização do documento particular e disponibilização ao cliente final)					
6.6 Manual de uso, operação e manutenção das edificações (1 – Não é confeccionado o manual do usuário / 5 – Manual do usuário completo com descrição dos elementos presentes na unidade, além de boas práticas de manutenção do imóvel)					
6.7 Padronização de conformidades para a entrega da obra (1 – Não há padronização de critérios para a entrega da edificação / 5 – Critérios bem definidos juntos ao cliente final e difundidos para a aprovação interna e entrega aos interessados)					
6.8 Serviço de assistência técnica pós-entrega (1 – Não há serviço de assistência técnica / 5 – Serviço de assistência técnica proativo que contribua na satisfação dos clientes pós-entrega)					
7 - Diagnóstico da qualidade e logística					
7.1 Definição dos materiais críticos para a qualidade (1 – Os materiais não possuem classificação nem análise quanto a sua importância / 5 – Os materiais são profundamente analisados e entende-se quais são os mais relevantes para a qualidade do produto final)					
7.2 Definição dos equipamentos críticos para a qualidade (1 – Os equipamentos não possuem classificação nem análise quanto a sua importância / 5 – Os equipamentos são profundamente analisados e entende-se quais são os mais relevantes para a qualidade do produto final)					

Questões	Atendimento do item				
	1	2	3	4	5
7.3 Calibração e aferição de ferramentas de medição (prumos, réguas, paquímetros, balanças, etc.) (1 – Tais ferramentas não possuem nenhum sistema de garantia da qualidade das medições realizadas / 5 – Controle rigoroso e preventivo das ferramentas de medição)					
7.4 Definição dos clientes internos (relação entre serviços predecessores e posteriores) (1 – Não há estudos e identificação dos clientes internos a cada etapa / 5 – Há o estudo aprofundado dos clientes internos e a interdependência das atividades construtivas)					
7.5 Identificação das entradas (materiais, equipamentos, ferramentas, equipe e instruções) e produtos do processo (1 – Nenhuma parte do planejamento contempla o entendimento das entradas e saídas / 5 – O planejamento define por completo quais são as entradas (materiais, mão de obra, terceiros, etc.) e quais são os resultados esperados)					
7.6 Planejamento do canteiro de obras (Projeto do canteiro, programação visual, sistemas de transporte e circulação, áreas de vivência.) (1 – Nenhum planejamento relacionado ao layout e controle de fluxos no canteiro / 5 – Layout e controle de fluxos bem desenvolvido para otimização dos processos no canteiro)					
7.7 Planejamento formal das etapas de produção (Cronogramas com acompanhamento de controle ou linhas de balanço) (1 – Nenhum detalhamento do cronograma → produção empurrada / 5 – Detalhamento bem definido do cronograma com o entendimento de produção puxada)					
7.8 Indicadores de sustentabilidade da obra (resíduos, água e energia) (1 – Não há nenhum tipo de medição da geração de resíduos e utilização de água e energia na obra / 5 – Todos os indicadores são medidos e analisados)					
7.9 Gestão da qualidade particularizada das atividades terceirizadas (1 – As atividades terceirizadas são acompanhadas apenas nas entregas dos produtos parciais / 5 – Relacionamento constante com a empresa terceira, com criação de metas, alinhamento e medição de expectativas e entregas)					
7.10 Gerenciamento de estoques (almoxarifado, granel, etc.) (1 – Não há planejamento e medição dos insumos no estoque / 5 – Há controle de estoque por meio de ferramentas visuais e gerenciais)					
7.11 Acompanhamento dos resíduos líquidos e sólidos da obra (1 – Não são analisados e estudados os valores dos resíduos / 5 – Avaliação qualitativa e quantitativa dos RCC com objetivo de diminuição estratégica em empreendimentos futuros)					
7.12 Reuniões periódicas para tomadas de decisão (1 – Não há reuniões que possibilitem as decisões / 5 – São realizadas reuniões estruturadas de caráter analítico e estratégico periodicamente e em diversos níveis)					
7.13 Uso de TICs para controle da comunicação com liderança e/ou com responsáveis por atividades diretamente relacionadas (1 – Gestão da comunicação tradicional sem o uso de ferramentas tecnológicas / 5 – Uso de Tecnologias da Informação na Construção a fim de otimizar os processos e diminuir desperdícios)					

Questões	Atendimento do item				
	1	2	3	4	5
7.14 Gerenciamento visual facilitado por meio de dispositivos visuais (Kanban, andon, placas etc.) (1 – Não há gerenciamento visual das etapas construtivas e fluxos do processo / 5 – Utilização de ferramentas que possibilite o gerenciamento visual das etapas, além de expor as oportunidades de melhoria)					
7.15 Documentação organizada do sistema de qualidade (1 – A documentação não possui padronização de organização / 5 – A documentação está a acesso de todos de forma transparente e rápida)					
7.16 Controle e compatibilização dos projetos em todos os níveis (conceitual, básico e executivo) (1 – Não há controle oficial dos projetos nos níveis elencados / 5 – Controle integral e compatibilizado das disciplinas envolvidas por meio de sistema de gestão de projetos)					
7.17 Manutenção preventiva dos equipamentos (1 – Não é realizada nenhum tipo de manutenção / 5 – Manutenção preventiva de materiais e equipamentos visando prolongar a vida útil e evitar paradas não programadas na produção)					
7.18 Controle das aprovações dos serviços (1 – Os serviços não passam por nenhum tipo de aprovação final ou parcial / 5 – Controle e documentação da aprovação bem definidos quanto a escopo e prazos)					
7.19 Controle do transporte de materiais (1 – Não há nenhum tipo de gestão para o controle dos transportes / 5 – Controle do transporte, além de planejamento dos materiais a serem transportados por prazos e equipamentos)					
7.20 Controle do armazenamento de materiais e equipamentos (1 – Não há controle do armazenamento / 5 – Controle total com a identificação dos responsáveis e prazos, além de sistema de utilização dos materiais mais antigos)					
7.21 Padronização de procedimentos pela própria empresa para elaboração de orçamentos? (Discriminação orçamentária, critérios e procedimentos de medição de serviços, composições unitárias, sistema informatizado, registro de preços praticados e consumos) (1 – Não há padronização de procedimentos / 5 – Há padronização e utilização de recursos digitais para o controle da orçamentação)					

Apêndice D – Respostas dos participantes

Empresa	Porte	Tipos de obras	Certificado de qualidade	Possui departamento de qualidade?	Possui responsável pela qualidade em cada obra?	Opções de auditoria da qualidade realizadas	Utilização de FVS ou similar?	Os dados de controle dos serviços são armazenados? Se sim, em qual local?	Os dados de controle dos serviços são tratados? Se sim, como?	A empresa usa sistema de gerenciamento dos dados de qualidade?
A	Grande	Residenciais	ISO 9001 e/ou correlatas, PBQP-H (Nível A)	Sim	Sim	Interna, Interna realizada por empresa terceira, Externa	Sim	Ainda temos algumas obras com fichas físicas, porém as obras mais novas já estão fazendo a verificação de maneira digital (aplicativo no celular) e assim os controles ficam arquivados no banco de dados do sistema.	Ações corretivas e plano de ação. Pontualmente. A ideia é que de maneira digital esse controle seja mais fácil.	Sim
B	Média	Residenciais	ISO 9001 e/ou correlatas, PBQP-H (Nível A)	Sim	Sim	Interna, Interna realizada por empresa terceira, Externa	Sim	Sim. Fisicamente na obra e digitalmente em servidor, dropbox e Autodoc FVS	Sim, através de planos de ação corretivas e imediatas registradas. São registrados nas FVS e nos Planos de ação do QRO (Qualidade Real da Obra) de cada obra.	SIM, Autodoc Qualidade
C	Pequena	Residenciais, Reformas	PBQP-H (Nível B)	Não	Não	Não realiza nenhum tipo de auditoria	A empresa não	Sim, são feitos relatórios fotográficos de todas as etapas e arquivados por	Não possui	Não

Empresa	Porte	Tipos de obras	Certificado de qualidade	Possui departamento de qualidade?	Possui responsável pela qualidade em cada obra?	Opções de auditoria da qualidade realizadas	Utilização de FVS ou similar?	Os dados de controle dos serviços são armazenados? Se sim, em qual local?	Os dados de controle dos serviços são tratados? Se sim, como?	A empresa usa sistema de gerenciamento dos dados de qualidade?
							possui ficha de verificação de serviços, apenas um responsável para avaliar e aprovar os serviços.	data. Apenas controlado pelo pessoal de obra. armazenados em arquivo físico.		
D	Pequena	Infraestrutura (rodovias, ferrovias, OAEs, aeroportos, instalações governamentais, instalações laboratoriais, etc.)	Não	Não	Sim	Não realiza nenhum tipo de auditoria	Não	Sim - Controle de obras da engenharia	Não	Não
E	Média	Edificações comerciais, residenciais, hospitalares, reformas e industriais	Não	Não	Não	Não realiza nenhum tipo de auditoria	Sim	Sim, armazenamento físico no escritório e na obra	Não	Não

Empresa	Porte	Tipos de obras	Certificado de qualidade	Possui departamento de qualidade?	Possui responsável pela qualidade em cada obra?	Opções de auditoria da qualidade realizadas	Utilização de FVS ou similar?	Os dados de controle dos serviços são armazenados? Se sim, em qual local?	Os dados de controle dos serviços são tratados? Se sim, como?	A empresa usa sistema de gerenciamento dos dados de qualidade?
F	Pequena	Obras de edificações comerciais, Obras industriais	Não	Não	Não	Não realiza nenhum tipo de auditoria	Não utiliza	Não são armazenados	Não são tratados	Não usa
G	Grande	Infraestrutura, comerciais, residenciais, hospitalares e industriais	ISO 9001 e/ou correlatas, Certificações ambientais, PBQP-H (Nível A)	Sim	Sim	Interna, Interna realizada por empresa terceira, Externa	Sim	Sim. Durante a obra (pastas suspensas, AZ e caixa box), nas redes e arquivo físico, e, ao término da obra, os Data Books são armazenados na Unidade de Arquivamento Geral da empresa. Meio físico e digitalizados no Sharepoint.	São definidas as ações de correção para as Nc's detectadas em FVS's, dentro do próprio formulário. A partir daí, a FVS's fica em aberto até a correção na NC. Analisados através de indicadores de desempenho. Somente revisados, não geramos estatísticas.	A empresa utiliza softwares para controle, que variam entre os projetos.
H	Média	Obras industriais	Não	Não	Não	Auditoria Interna	Não	Não	Não	Não
I	Pequena	Comerciais, hospitalares, reformas e industriais	Não	Não	Sim	Auditoria Interna	Sim	Sim, via impressa e arquivo digital.	Não	Não

Empresa	Porte	Tipos de obras	Certificado de qualidade	Possui departamento de qualidade?	Possui responsável pela qualidade em cada obra?	Opções de auditoria da qualidade realizadas	Utilização de FVS ou similar?	Os dados de controle dos serviços são armazenados? Se sim, em qual local?	Os dados de controle dos serviços são tratados? Se sim, como?	A empresa usa sistema de gerenciamento dos dados de qualidade?
J	Micro	Comerciais, residenciais, reformas e industriais	Não	Não	Sim	Não realiza nenhum tipo de auditoria	Sim	Sim, no sistema integrado da empresa	São sim, com a FVS no padrão aceitável é aprovado o pagamento junto a empresa que realizou as atividades, caso não esteja aceitável junto a FVS, o pagamento é retido para a correção da atividade, gerando um possível documento de lições aprendidas e o documento Procedimento de Execução de Serviço. São avaliados pelo engenheiro de cada obra.	Sim, são arquivados em nossa rede as FVS, para rastreamento de possíveis falhas dentro da atividade.

Número	Código	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	Média 1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	Média 2	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	Média 3
1	A1	3	4	3	2	3	2,60	4	4	4	4	4	4,00	3	2	2	3	3	1	2	2	3	2	2	2,27
2	A2	5	5	5	4	5	4,00	5	5	5	5	5	5,00	4	4	4	4	3	4	4	4	5	5	5	4,18
3	A3	2	4	5	4	4	3,40	4	3	3	4	4	3,60	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3	3,45
4	A4	4	4	4	4	4	4,00	4	4	5	5	5	4,60	4	3	3	3	3	3	5	5	4	4	3	3,64
5	A5	3	4	2	1	2	2,80	4	4	4	2	4	3,60	4	3	1	2	2	3	4	4	4	5	3	3,18
6	B1	5	4	5	3	5	3,60	4	3	3	5	3	3,60	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3,73
7	B2	5	5	5	3	5	3,60	4	3	3	4	3	3,40	5	5	3	3	4	3	5	5	4	5	3	4,09
8	B3	5	4	4	5	4	5,00	3	2	2	4	2	2,60	3	4	3	3	5	4	5	5	5	4	5	4,18
9	C1	2	4	2	2	3	1,40	5	4	3	2	2	3,20	2	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2,55
10	C2	4	3	3	3	1	1,80	5	1	1	2	2	2,20	4	3	3	1	1	1	4	4	1	2	1	2,27
11	C3	3	4	2	1	2	1,40	5	2	3	2	1	2,60	4	2	3	2	1	3	4	4	2	2	1	2,55
12	C4	1	2	4	2	3	2,40	5	2	3	2	3	3,00	3	3	2	2	1	4	4	2	4	5	1	2,82
13	C5	2	4	1	1	2	1,40	3	1	1	2	1	1,60	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	1	1,64
14	D1	4	5	5	5	5	4,00	5	3	3	4	5	4,00	5	4	3	3	3	2	5	5	5	3	3	3,73
15	D2	5	5	5	4	5	2,00	4	1	4	3	4	3,20	4	2	1	1	1	1	4	4	3	1	1	2,09
16	E1	4	5	4	4	4	3,40	5	4	4	5	5	4,60	4	4	4	4	1	4	5	5	5	5	5	4,18
17	E2	3	4	3	4	3	3,60	5	4	4	5	5	4,60	4	5	4	2	1	4	5	5	4	5	4	3,91
18	E3	3	4	3	4	4	3,60	5	5	4	5	5	4,80	1	4	4	3	1	4	5	5	4	5	1	3,36
19	F1	2	2	2	2	2	1,40	2	2	2	3	2	2,20	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1,36
20	F2	1	2	1	2	2	1,40	3	2	2	4	2	2,60	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1,55
21	F3	2	2	2	2	1	1,20	2	1	2	3	2	2,00	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1,36
22	G1	5	5	5	1	3	5,00	3	3	3	5	5	3,80	4	4	3	3	3	4	5	3	3	3	3	3,45
23	G2	5	5	4	4	5	4,20	5	5	4	5	5	4,80	5	4	3	2	2	4	5	4	4	4	4	3,73
24	G3	5	4	5	4	4	4,20	5	4	3	4	5	4,20	4	4	4	4	3	4	4	4	5	5	4	4,09
25	G4	5	5	5	3	5	4,20	5	5	5	4	5	4,80	5	4	3	3	4	5	5	5	5	4	4	4,27
26	G5	4	4	4	5	5	4,80	5	4	5	4	5	4,60	4	4	4	4	3	5	5	5	5	5	5	4,45

Número	Código	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	Média 1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	Média 2	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	Média 3
27	G6	5	4	4	4	5	4,00	5	4	4	5	5	4,60	4	5	4	4	2	5	5	5	4	4	3	4,09
28	H1	5	4	2	1	3	2,60	5	2	2	2	1	2,40	3	2	2	2	1	3	4	4	2	4	1	2,55
29	H2	5	3	2	2	2	1,60	3	3	3	3	2	2,80	3	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1,73
30	I1	2	4	3	3	4	4,00	5	2	5	5	1	3,60	5	5	2	2	3	5	4	4	4	5	1	3,64
31	J1	4	4	4	1	4	4,20	4	4	4	4	1	3,40	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3,82
32	J2	5	5	5	4	5	4,60	5	5	5	5	5	5,00	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4,82
33	J3	2	5	2	2	3	3,40	3	5	4	5	5	4,40	5	5	5	3	1	4	4	4	2	4	1	3,45
34	J4	3	4	3	3	2	3,80	4	2	3	4	4	3,40	5	3	4	4	5	4	3	2	3	4	1	3,45
		3,62	4,00	3,47	2,91	3,50	3,19	4,21	3,18	3,38	3,82	3,47	3,61	3,56	3,32	2,91	2,68	2,35	3,12	3,91	3,76	3,53	3,68	2,65	3,22

Núm.	Cód.	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	Média 4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	Média 5	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	Média 6	Média Final
1	A1	4	4	3	3	3	3	3	3	3,25	3	2	3	2	3	2,60	5	4	5	4	3	4	5	5	4,38	3,18
2	A2	5	5	5	4	5	4	5	4	4,63	4	4	4	4	4	4,00	5	4	4	4	4	4	4	5	4,25	4,34
3	A3	4	3	2	3	3	3	4	4	3,25	4	3	4	3	3	3,40	4	2	4	3	3	3	4	4	3,38	3,41
4	A4	4	5	3	5	4	4	5	4	4,25	4	3	5	4	4	4,00	5	5	5	4	4	5	5	5	4,75	4,21
5	A5	2	4	3	5	4	3	4	3	3,50	3	2	3	3	3	2,80	3	4	5	3	4	5	4	5	4,13	3,33
6	B1	4	5	4	5	5	4	5	5	4,63	4	3	4	3	4	3,60	4	5	5	3	4	5	4	5	4,38	3,92
7	B2	2	5	3	5	5	3	5	5	4,13	5	5	5	1	2	3,60	3	4	4	4	5	5	5	5	4,38	3,87
8	B3	4	5	5	5	4	5	5	5	4,75	5	5	5	5	5	5,00	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00	4,42
9	C1	3	2	2	2	2	2	2	2	2,13	1	1	1	2	2	1,40	3	3	2	3	2	2	3	4	2,75	2,24
10	C2	2	1	4	1	1	2	1	2	1,75	3	1	1	3	1	1,80	5	1	1	4	5	5	4	4	3,63	2,24
11	C3	1	1	3	4	3	3	2	2	2,38	1	1	1	3	1	1,40	4	3	5	4	5	5	5	5	4,50	2,47
12	C4	3	4	4	4	1	5	2	4	3,38	5	1	1	3	2	2,40	5	4	5	5	5	5	5	5	4,88	3,14
13	C5	1	1	3	2	1	3	1	2	1,75	1	1	1	2	2	1,40	2	1	2	3	4	5	3	5	3,13	1,82

Núm.	Cód.	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	Média 4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	Média 5	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	Média 6	Média Final
14	D1	5	3	5	5	3	4	3	4	4,00	5	4	3	4	4	4,00	4	4	4	4	5	3	4	4	4,00	3,95
15	D2	3	1	5	3	1	2	1	2	2,25	3	2	1	2	2	2,00	2	2	2	2	4	1	2	2	2,13	2,28
16	E1	4	4	4	5	4	5	3	3	4,00	4	1	4	4	4	3,40	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00	4,10
17	E2	4	4	5	4	3	4	2	3	3,63	4	1	4	4	5	3,60	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00	4,06
18	E3	2	2	5	5	2	4	2	3	3,13	5	2	3	4	4	3,60	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00	3,91
19	F1	1	1	2	1	1	2	1	1	1,25	2	1	1	2	1	1,40	1	2	1	2	1	1	1	1	1,25	1,48
20	F2	2	1	3	2	1	2	2	1	1,75	1	1	1	2	2	1,40	2	2	2	3	2	1	2	2	2,00	1,78
21	F3	2	1	2	1	1	2	1	1	1,38	2	1	1	1	1	1,20	1	2	2	2	2	1	1	2	1,63	1,46
22	G1	4	4	5	5	5	5	5	3	4,50	5	5	5	5	5	5,00	3	5	2	3	5	4	3	4	3,63	4,23
23	G2	3	4	4	5	5	4	4	3	4,00	4	3	5	5	4	4,20	4	4	4	5	5	4	4	4	4,25	4,20
24	G3	5	5	4	5	5	5	5	5	4,88	4	4	5	4	4	4,20	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00	4,43
25	G4	3	5	5	4	4	4	5	5	4,38	5	3	5	4	4	4,20	5	5	5	5	5	4	5	4	4,75	4,43
26	G5	4	4	4	3	5	4	4	4	4,00	5	4	5	5	5	4,80	5	5	3	4	5	5	5	5	4,63	4,55
27	G6	4	4	4	4	4	4	4	5	4,13	4	4	4	4	4	4,00	4	4	3	3	4	5	4	4	3,88	4,12
28	H1	1	1	3	1	1	2	1	1	1,38	4	1	1	3	4	2,60	5	3	3	3	3	1	4	3	3,13	2,44
29	H2	2	1	1	3	1	3	1	1	1,63	1	1	1	2	3	1,60	3	2	2	2	2	1	1	3	2,00	1,89
30	I1	2	2	5	4	2	4	1	4	3,00	5	1	5	5	4	4,00	1	1	1	1	5	5	5	5	3,00	3,54
31	J1	4	5	5	4	4	3	3	4	4,00	5	3	4	5	4	4,20	5	4	4	4	5	5	4	5	4,50	4,02
32	J2	5	5	5	5	5	4	4	3	4,50	5	3	5	5	5	4,60	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00	4,75
33	J3	3	1	5	3	4	5	2	2	3,13	4	3	4	3	3	3,40	4	3	4	4	4	4	4	5	4,00	3,63
34	J4	3	2	4	2	2	3	2	1	2,38	5	4	2	4	4	3,80	4	1	5	4	4	5	5	5	4,13	3,49
		3,09	3,09	3,79	3,59	3,06	3,50	2,94	3,06	3,26	3,68	2,47	3,15	3,38	3,29	3,19	3,85	3,50	3,65	3,68	4,09	3,91	3,97	4,26	3,86	3,39

Núm.	Cód.	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10	7.11	7.12	7.13	7.14	7.15	7.16	7.17	7.18	7.19	7.20	7.21	Média 7
26	G5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	5	4	5	4	5	4	4,71
27	G6	4	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5	5	5	5	5	4,67
28	H1	5	4	3	2	1	3	4	1	5	4	2	5	1	2	3	3	3	4	3	4	5	3,19
29	H2	2	1	1	1	2	1	3	2	2	2	3	4	1	2	1	3	2	1	1	3	4	2,00
30	I1	4	4	5	1	4	5	5	3	5	4	1	5	1	1	1	5	5	5	4	4	5	3,67
31	J1	5	5	5	5	4	5	5	3	4	4	4	4	3	5	5	5	3	4	4	4	5	4,33
32	J2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00
33	J3	4	4	2	5	5	2	5	2	5	4	2	5	3	5	5	5	5	5	3	4	4	4,00
34	J4	4	3	1	3	3	3	5	1	4	4	1	3	3	4	2	5	2	4	3	4	5	3,19
		3,79	3,65	3,71	3,12	3,56	3,71	3,91	3,03	3,56	3,76	3,03	4,09	2,82	2,56	3,41	3,65	3,56	3,97	3,47	3,91	3,94	3,53

Número	Código	"Envolvimento e Comprometimento da Liderança"	"Treinamento e Reconhecimento dos Recursos Humanos"	"Coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade"	"Desenvolvimento de metodologias e ações"	"Ferramentas qualitativas para a análise de problemas"	"Foco no cliente"	"Aplicação da melhoria contínua na construção civil"
1	A1	4	4	4	4	4	4	4
2	A2	5	5	5	5	5	5	5
3	A3	5	4	5	5	4	4	5
4	A4	5	4	5	5	5	5	5
5	A5	4	4	5	5	5	5	5
6	B1	5	5	5	5	5	5	5
7	B2	5	5	5	5	5	5	5
8	B3	5	5	5	5	5	5	5

Número	Código	"Envolvimento e Comprometimento da Liderança"	"Treinamento e Reconhecimento dos Recursos Humanos"	"Coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade"	"Desenvolvimento de metodologias e ações"	"Ferramentas qualitativas para a análise de problemas"	"Foco no cliente"	"Aplicação da melhoria contínua na construção civil"
9	C1	3	4	3	4	4	5	5
10	C2	4	4	4	5	4	5	5
11	C3	5	4	4	2	2	5	3
12	C4	5	3	2	5	2	5	5
13	C5	2	2	2	3	2	2	2
14	D1	5	5	5	5	5	5	5
15	D2	5	4	3	4	4	5	5
16	E1	5	5	5	4	3	5	5
17	E2	5	5	5	5	4	5	5
18	E3	5	5	5	5	5	5	5
19	F1	3	3	3	3	3	3	3
20	F2	4	4	4	4	4	4	4
21	F3	4	4	4	4	4	4	4
22	G1	5	5	5	5	5	5	5
23	G2	4	4	3	4	2	4	4
24	G3	5	5	4	5	4	5	5
25	G4	5	4	5	5	4	5	5
26	G5	5	5	5	5	4	5	5
27	G6	5	5	4	5	4	5	5
28	H1	4	4	5	5	4	5	5
29	H2	3	2	3	4	4	5	5
30	I1	5	5	5	3	5	5	5
31	J1	5	5	5	5	5	5	5

Número	Código	"Envolvimento e Comprometimento da Liderança"	"Treinamento e Reconhecimento dos Recursos Humanos"	"Coleta e análise de dados para tomada de decisão e diminuição da variabilidade"	"Desenvolvimento de metodologias e ações"	"Ferramentas qualitativas para a análise de problemas"	"Foco no cliente"	"Aplicação da melhoria contínua na construção civil"
32	J2	5	5	5	5	5	5	5
33	J3	5	5	3	4	5	5	5
34	J4	5	4	4	4	4	4	4
		4,53	4,29	4,24	4,44	4,09	4,68	4,65

Apêndice E – Análises estatísticas e avaliação do Alfa de Cronbach das questões

Tabela 27: Avaliação estatística e confiabilidade do questionário

Questão	Média	Desvio Padrão	Alfa de Cronbach
ECL			0,8672
ECL-01	3,62	1,35	0,8564
ECL-02	4,00	0,92	0,8560
ECL-03	3,47	1,31	0,8083
ECL-04	2,91	1,29	0,8664
ECL-05	3,50	1,29	0,7999
TRH			0,8431
TRH-01	4,21	0,95	0,8688
TRH-02	3,18	1,31	0,7700
TRH-03	3,38	1,13	0,7818
TRH-04	3,82	1,14	0,8174
TRH-05	3,47	1,56	0,7969
CAEV			0,9342
CAEV-01	3,56	1,19	0,9345
CAEV-02	3,32	1,27	0,9222
CAEV-03	2,91	1,22	0,9274
CAEV-04	2,68	1,12	0,9257
CAEV-05	2,35	1,37	0,9355
CAEV-06	3,12	1,41	0,9231
CAEV-07	3,91	1,06	0,9299
CAEV-08	3,77	1,18	0,9292
CAEV-09	3,53	1,19	0,9244
CAEV-10	3,68	1,25	0,9261
CAEV-11	2,65	1,52	0,9298
DMC			0,9343
DMC-01	3,09	1,24	0,9286
DMC-02	3,09	1,64	0,9166
DMC-03	3,79	1,15	0,9426
DMC-04	3,59	1,40	0,9225
DMC-05	3,06	1,56	0,9193
DMC-06	3,50	1,02	0,9298
DMC-07	2,94	1,54	0,9197
DMC-08	3,06	1,37	0,9215
FQAP			0,9061
FQAP-01	3,68	1,41	0,8793
FQAP-02	2,47	1,40	0,9055
FQAP-03	3,15	1,67	0,8729

Questão	Média	Desvio Padrão	Alfa de Cronbach
FQAP-04	3,38	1,21	0,8902
FQAP-05	3,29	1,27	0,8758
FCF			0,9331
FCF-01	3,85	1,33	0,9239
FCF-02	3,50	1,42	0,9239
FCF-03	3,65	1,43	0,9242
FCF-04	3,68	1,09	0,9226
FCF-05	4,09	1,16	0,9261
FCF-06	3,91	1,55	0,9248
FCF-07	3,97	1,27	0,9163
FCF-08	4,27	1,11	0,9218

Fonte: Autor (2021)

Com o objetivo de garantir a confiabilidade do questionário, calculou-se a confiabilidade desse por meio do Alfa de Cronbach por meio de análises de multivariáveis, utilizando-se o software *Minitab16*®. É possível indicar que todos os princípios aqui avaliados atingiram um Alfa de ao menos 0,84. Tal nota é considerada boa e até mesmo alta, possibilitando um norteador inicial de um questionário confiável.

Além disso, todos os itens que compunham os princípios apresentaram um Alfa de pelo menos 0,77, sendo que a grande maioria (36 das 42 questões totais presentes no questionário) indicaram um Alfa maior de 0,85. Isso demonstra também a confiabilidade do questionário ao seu nível mais detalhado, enrobustecendo os resultados da pesquisa.

Apêndice F – Parecer final de aprovação da pesquisa junto ao CEP-UFSCar

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Submissão na Plataforma Brasil (<https://plataformabrasil.saude.gov.br/>)

Título Inicial da Pesquisa: APLICABILIDADE DO LEAN SIX SIGMA EM EMPRESAS CONSTRUTORAS

Pesquisador Responsável: LUCIO SCHIAVON YAMAMOTO

Versão 1 Submetida em: 07/05/2020

Versão 2 Submetida em: 04/08/2020

Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE):
31558220.8.0000.5504

Instituição Proponente: Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Número do Parecer: 4.238.326

Situação do Parecer: Aprovado

Data de Aprovação: 26/08/2020



PB_PARECER_CONSU
BSTANCIADO_CEP_42: