



Estado do Paraná

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - Unioeste
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

**ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE POLUENTES DAS INDÚSTRIAS DO
MUNICÍPIO DE TOLEDO-PR: TÉCNICA DO *LEAN E SEIS SIGMA***

Joel Cordeiro Júnior

Toledo – Paraná – Brasil

2020



Estado do Paraná

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - Unioeste
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

**ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE POLUENTES DAS INDÚSTRIAS DO
MUNICÍPIO DE TOLEDO-PR: TÉCNICA DO *LEAN E SEIS SIGMA***

Joel Cordeiro Júnior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Unioeste/*Campus* Toledo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Freddy Mendoza Morejon

MARÇO 2020

Toledo – PR

3 FICHA CATALOGRÁFICA (EM MAIÚSCULAS)

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Cordeiro Júnior, Joel
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE POLUENTES DAS INDÚSTRIAS DO
MUNICÍPIO DE TOLEDO-PR: TÉCNICA DO LEAN E SEIS SIGMA /
Joel Cordeiro Júnior; orientador(a), Camilo Freddy
Mendoza Morejon, 2020.
187 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste
do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e
Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, 2020.

1. Lean Manufacturing. 2. Industrialização. 3. Resíduos
Gasosos. 4. Seis Sigma. I. Freddy Mendoza Morejon, Camilo.
II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

“ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE POLUENTES DAS INDÚSTRIAS DO
MUNICÍPIO DE TOLEDO-PR: TÉCNICA DO *LEAN E SEIS SIGMA*”

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação *Stricto Sensu em Ciências Ambientais – Nível Mestrado, do Centro de Engenharia e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, pela comissão examinadora composta pelos membros:*

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Camilo Freddy Mendoza Morejon
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

Prof. Dr. Robson Luciano de Almeida
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr^a. Ana Paula Sone
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aprovada em: 10 de março de 2020

Local de Defesa: Sala GERPEL – UNIOESTE/Campus de Toledo.

DEDICATÓRIA

Às minhas tias, por sempre estarem ao meu lado, nunca desistirem e confiarem em minha capacidade, mas sobretudo, a Deus.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Camilo Freddy Mendoza Morejon, não somente por ter me auxiliado neste tema de pesquisa e tê-lo a mim confiado, mas por estar presente e sempre compartilhar suas percepções e grande conhecimentos, sempre me encorajando a nunca desistir e ter em foco a importância desse trabalho.

Aos docentes do programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, pelo enorme aprendizado e troca contínua de conhecimentos.

À empresa em estudo que abriu as portas para o desenvolvimento desse trabalho, que sem esse auxílio não seria possível este pesquisador ter desenvolvido com convicção o trabalho que almejou e resultou em impactante geração de valor intelectual e social para os envolvidos.

Aos colegas de mestrado, que juntos sempre torceram pelas conquistas individuais e coletivas de toda turma.

À minha família, minha Tia Iracema Cordeiro que respeitosamente à chamo de Mãe com todo o carinho, pelos anos de dedicação à minha pessoa e a minha Tia Mariza Cordeiro, que sempre me auxiliou e acreditou em meu potencial e nunca me abandonou nas horas mais temorasas de minha vida.

À Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, que sempre abriu suas portas para a utilização de seus laboratórios para pesquisa e desenvolvimentos de experiência, que serviram de apoio para a realização desse trabalho.

A todos aqueles que não foram citados nesta singela lista, mas que de alguma forma foram de grande importância para a realização desse trabalho.

SOBRE O AUTOR

Joel Cordeiro Júnior é formado em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná no ano de 2007 e, em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná no ano de 2011, tem Especialização em Gestão Industrial em Manufatura Enxuta - *Lean Manufacturing*, pelas Faculdades da Indústria – SENAI PR, ainda possui três certificações em Seis Sigma – *Six Sigma, White Belt e Yellow Belt*, pela Escola EDTI de São Paulo no ano de 2016 e *Green Belt*, pelas Faculdades da Indústria SENAI PR no ano de 2018.

Atua como professor de Ensino Básico em instituições particulares e ensino superior na Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, no município de Toledo, estado do Paraná.

Sua linha de pesquisa está voltada para a análise do processo de manufatura em indústrias, elaborando e desenvolvendo perfil de melhorias contínuas no processo produtivo, como rege a filosofia do *Lean Manufacturing*.

Como docente, ministra disciplinas voltadas à Engenharia plena, fortalecendo o vínculo entre universidade e indústria, acrescentando valor aos novos profissionais e às indústrias que absolvem essa mão de obra de estimado valor.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE QUADROS.....	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	18
1.1. Contextualização.....	18
1.2. Objetivos.....	19
1.3. Objetivos Específicos.....	20
1.4. Justificativa.....	20
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1. O marco histórico da industrialização.....	22
2.2. A industrialização no Brasil.....	24
2.3. A industrialização no município de Toledo.....	25
2.4. Os Impactos da Industrialização.....	27
2.5. Otimização dos processos produtivos.....	29
2.6. A geração de resíduos industriais.....	30
2.7. A Manufatura Enxuta.....	38
2.8. O Seis Sigma.....	42
2.9. O <i>Lean</i> e o <i>Seis Sigma</i>	50
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DA PESQUISA.....	53
Etapa 1) Levantamento das fontes geradoras de resíduos industriais com a identificação e caracterização das fontes geradoras no município de Toledo, estado do Paraná.....	53
Etapa 2) Monitoramento das fontes de geração de poluentes industriais.....	54
Etapa 3) Estudo e avaliação dos impactos gerados.....	54
1) DEFINIR (<i>DEFINE</i>)	54
2 MENSURAR (<i>MEASURE</i>) :.....	58
3 ANALISAR (<i>ANALYZE</i>)	59
4 MELHORAR (<i>IMPROVE</i>)	60

5 CONTROLAR (CONTROL)	60
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1. RESULTADOS DA PARTE 1 - Fontes geradoras de resíduos industriais no município de Toledo - PR	61
4.1.1. Identificação e caracterização de fontes geradoras de resíduos industriais no município de Toledo, estado do Paraná	61
4.1.2 Monitoramento das Fontes Geradoras de poluentes industriais	68
4.1.3 Estudo e Avaliação dos Impactos gerados	72
4.2.RESULTADOS DA PARTE 2 – 1) DEFINIR (DEFINE): Identificação, caracterização, monitoramento das fontes geradoras de resíduos gasosos com particulados em suspensão em estudo e desenvolvimento dos indicadores para a avaliação de impactos	80
4.2.1. Visualização do processo de depuração no ambiente industrial..	80
4.2.2. Descrição dos indicadores, da confiabilidade dos dados e da métrica a ser utilizada	95
4.2.3. Descrição da justificativa do projeto a ser realizado	106
4.3.RESULTADOS DA ETAPA 2 – 2) MENSURAR (MEASURE): Análise e estratificação de dados, indicador ECOEFICIÊNCIA e de metas específicas de melhoria de depuração industrial	109
4.3.1. Análise e estratificação dos fatores que geram o problema de depuração	109
4.3.2. Cálculo do Indicador ECOEFICIÊNCIA	129
4.4.RESULTADOS DA ETAPA 2 – 3) ANALISAR (ANALYZE): Análise e proposição de ações corretivas em âmbito técnico para a problemática	130
4.4.1. Descrição das causas potenciais que influenciam no problema	130
4.4.2. Comprovação das causas prioritizadas.....	132
4.5. RESULTADOS DA ETAPA 2 – 4) MELHORAR (IMPROVE): Aplicação e monitoramento dos indicadores e avaliar as vantagens e desvantagens das tecnologias em uso	134
4.5.1. Descrição das soluções encontradas para ações corretivas	134
4.5.2. Descrição dos riscos de implementação das ações corretivas...	136
4.5.3. Plano de ação 5W2H	138
4.5.4. Monitoramento dos indicadores no estado atual	141
4.5.5. Descrição da implementação	146

4.5.6. Descrição do atingimento dos resultados	149
4.6.RESULTADOS DA ETAPA 2 – 5) CONTROLAR (CONTROL): Controle sistemático, implementação e operacionalização de propostas de tecnologias substitutivas, com o intuito de validação dos procedimentos para o índice de filtragem e sistematização dos resultados para a replicabilidade em processos análogos.	161
4.6.1. Descrição, novo padrão de operação	161
4.6.2. Validação de procedimento do índice de filtragem e sistematização dos resultados.....	163
4.6.3. Descrição e sistematização do indicador de ECOFICIÊNCIA	173
4.6.4. Prospecção de tecnologias alternativas e/ou substitutivas	175
4.6.5. Avaliação dos impactos do ponto de vista social, econômico e ambiental	177
5. CONCLUSÕES.....	180
REFERÊNCIAS.....	182

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Caged	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CLP	Controlador Lógico Programável
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTA	Central de Ar
CV	Coeficiente de Variação
DMAIC	Define; Measure; Analyze; Improve; Control.
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
LGN	<i>Lean Global Network</i>
MFV	Mapa de Fluxo de Valor
NEPS	Pequenas Aglomerações de Fibras Têxteis
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PIB	Produto Interno Bruto
POP	Procedimento Operacional Padrão
SESMT	Serviço Especializado em Segurança e Medicina do Trabalho
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
UR%	Umidade Relativa (Percentual)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Geração e emissão de resíduos industriais.	28
Figura 2. Filtração em superfície ou com formação de torta	36
Figura 3. Filtração em profundidade	37
Figura 4. Benefícios da redução de desperdícios.	39
Figura 5. Processo 6 Sigma	43
Figura 6. Representação do Ciclo DMAIC.....	44
Figura 7. Representação das etapas do <i>DEFINE</i>	45
Figura 8. Representação das etapas do <i>MEASURE</i>	46
Figura 9. Representação das etapas do <i>ANALYZE</i>	47
Figura 10. Representação das etapas do <i>IMPROVE</i>	48
Figura 11. Representação das etapas do <i>CONTROL</i>	49
Figura 12. <i>Lean</i> Seis Sigma como comparativo.....	51
Figura 13. Porcentagem de Indústrias de Transformação em Toledo - PR.	63
Figura 14. Distribuição em porcentagem das indústrias de transformação em Toledo - PR (ECONODATA 2019).....	65
Figura 15. Indústrias de Transformação por Escritório Regional.	69
Figura 16. Porcentagem de Quantidades de Resíduos Industriais em Toledo – PR. (Baseado no IAP 2018).....	71
Figura 17. Mesorregião Oeste e Bacias Hidrográficas.....	74
Figura 18. Localização Geográfica do município de Toledo – PR no Estado. ...	75
Figura 19. Principais Bacias Hidrográficas no Município de Toledo - Pr.....	76
Figura 20. Distribuição das Empresas no Município de Toledo - PR.....	77
Figura 21. Elementos de proposta de Sistema de Gestão.	79
Figura 22. Classificação de fibras têxteis utilizadas em processos produtivos. 80	
Figura 23. Fluxograma do processo produtivo do estudo de caso.....	84
Figura 24. Modelo de Depurador Instalado em ambiente industrial.....	89
Figura 25. Pás de insuflamento de ar ambiente	90
Figura 26. Bomba de água da piscina.....	91
Figura 27. Válvula da Bomba.	91
Figura 28. Motor acionador da válvula	92
Figura 29. Comando do supervisor para forçamento de válvula.	93
Figura 30. Funcionamento das janelas de recirculação.....	94
Figura 31. BoxPlot de Controle de Resíduos Coletados.....	95
Figura 32. Carta de Controle de Pesagens de Resíduos Filtrados por Área Total.	97
Figura 33. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos. ...	98
Figura 34. Análise do Comportamento da Temperatura para a CTA2.	99
Figura 35. Análise do Comportamento da Temperatura para a CTA3.	99
Figura 36. Análise da Umidade Relativa UR% na CTA2.	100
Figura 37. Análise da Umidade Relativa UR% na CTA3.	100
Figura 38. Quantidade de colaboradores anual com problemas respiratórios. 106	
Figura 39. Diagrama SIPOC.	108
Figura 40. Estratificação do Sistema de Depuração.....	109
Figura 41. Análise de Pesagens de Resíduos da CTA1 a CTA6	110
Figura 42. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA1.....	112
Figura 43. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA2.....	113
Figura 44. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA3.....	114

Figura 45. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA4.....	115
Figura 46. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA5 e CTA6.....	116
Figura 47. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA1.....	117
Figura 48. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA2.....	118
Figura 49. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA3.....	119
Figura 50. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA4.....	120
Figura 51. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA5 e CTA6.....	120
Figura 52. Nova Estratificação do Sistema de Depuração.....	121
Figura 53. Análise de Pesagens de Resíduos da CTA2.....	122
Figura 54. Análise de Pesagens de Resíduos da CTA3.....	122
Figura 55. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA2.....	124
Figura 56. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA3.....	124
Figura 57. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA2.....	125
Figura 58. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA3.....	126
Figura 59. Séries Temporais de Comportamento de Temperatura CTA2.....	127
Figura 60. Séries Temporais de Comportamento de Temperatura CTA3.....	127
Figura 61. Séries Temporais de Comportamento da Umidade Relativa CTA2.....	128
Figura 62. Séries Temporais de Comportamento da Umidade Relativa CTA3.....	129
Figura 63. Descrição detalhada do processo de Depuração.....	131
Figura 64. Diagrama de Ishikawa.....	132
Figura 65. Sacola para resíduos e cesto de resíduos.....	142
Figura 66. Corredor do Filatório.....	142
Figura 67. Grelhas com acúmulo de particulado de algodão.....	143
Figura 68. Grelha exposta com aglomerado de algodão.....	143
Figura 69. Tampa de entrada de verificação dos túneis de sucção.....	144
Figura 70. Acúmulo de partículas de algodão nos equipamentos industriais.....	145
Figura 71. Túneis de sucção com resíduos.....	146
Figura 72. BoxPlot de Controle de Resíduos Coletados CTA2.....	149
Figura 73. BoxPlot de Controle de Resíduos Coletados CTA3.....	150
Figura 74. Carta de Controle de Pesagens de Resíduos Filtrados por Área Total.....	151
Figura 75. Carta de Controle de Pesagens de Resíduos Filtrados por Área Total.....	152
Figura 76. Carta de Controle de Vazão Mássica do Depurador da CTA2.....	153
Figura 77. Carta de Controle de Vazão Mássica do Depurador da CTA3.....	154
Figura 78. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Área de Filtragem CTA2.....	155
Figura 79. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Área de Filtragem CTA3.....	155
Figura 80. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Vazão Mássica CTA2.....	157
Figura 81. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Vazão Mássica CTA3.....	158
Figura 82. Mantas dos Depuradores.....	159
Figura 83. Aletas para entrada de ar externo.....	159
Figura 84. Bicos Injetores de Controle de Umidade.....	160

Figura 85. Grelhas de sucção.....	160
Figura 86. BoxPlot de Controle de Resíduos Coletados CTA2 e CTA3.....	163
Figura 87. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Área de Filtragem CTA2.	164
Figura 88. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Área de Filtragem CTA3.	165
Figura 89. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Área de Filtragem CTA2.	166
Figura 90. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Área de Filtragem CTA2.	167
Figura 91. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Vazão Mássica CTA2.....	168
Figura 92. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Vazão Mássica CTA3.....	168
Figura 93. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Vazão Mássica CTA2.....	169
Figura 94. Capacidade de Processo <i>Six Pack</i> para Vazão Mássica CTA3.....	170
Figura 95. Controle de Temperatura e Umidade Relativa para CTA 2 e CTA3.	171
Figura 96. Colaboradores com Problemas Respiratórios.	172
Figura 97. Desempenho da Eficiência nas Centrais.....	174
Figura 98. Fluxograma de novo modelo de gestão para resíduos industriais.	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Interpretação do comprimento das fibras têxteis naturais e comerciais.....	33
Tabela 2. Desperdícios em setores de processos produtivos globais.....	40
Tabela 3. Comparativo entre 4 sigma e 6 sigma.....	43
Tabela 4. Comparativo entre Seis Sigma e <i>Lean Manufacturing</i>	52
Tabela 5. Classificação das Indústrias de Transformação em Toledo – PR (Baseado em RAIS E IBGE 2019).....	62
Tabela 6. Classificação e número de indústrias de Transformação em Toledo – PR (Baseado em ECONODATA 2019).....	63
Tabela 7. Número de Indústrias de Transformação em Toledo - PR (Baseado em SMMA 2018).....	66
Tabela 8. Número de Inventários da Indústria de Transformação por Escritório Regional (Baseado em IAP 2018).....	68
Tabela 9. Inventários cadastrados por tipo de atividade industrial no município de Toledo - PR. (Baseado no IAP 2018).....	70
Tabela 10. Resíduos Industriais com destinação final em Toledo – PR. (Baseado no IAP 2018).....	73
Tabela 11. Cálculo da Área de Filtragem de cada Central.....	96
Tabela 12. Dados de Gasto Energético global no ano de 2018.....	101
Tabela 13. Previsão do consumo de Energia nas Centrais de Depuração.....	102
Tabela 14. Número de Colaboradores com Problemas Respiratórios 2014 a 2016.....	104
Tabela 15. Número de Colaboradores com Problemas Respiratórios 2017 a 2019.....	105
Tabela 16. Relação de Ecoeficiência Histórica para as Centrais CTA2 e CTA3.....	130
Tabela 17. Matriz de Priorização.....	133
Tabela 18. Quantidades de resíduos coletados CTA2 e CTA3.....	150
Tabela 19. Capacidade de Filtragem por Área Total CTA2 e CTA3.....	152
Tabela 20. Dados de Vazão Mássica para a CTA2 e CTA3.....	154
Tabela 21. Relação de Valores de Cp e Cpk.....	157
Tabela 22. Quantidades de resíduos coletados CTA2 e CTA3.....	163
Tabela 23. Relação de Ecoeficiência Histórica para as Centrais CTA2 e CTA3.....	173

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação de Sistemas Industriais.	23
Quadro 2. Comparativo de poluição de resíduos.	31
Quadro 3. Principais resíduos gasosos gerados em indústrias.	32
Quadro 4. Business Case da <i>Empresa X</i>	107
Quadro 5. Descrição das Priorizações.	135
Quadro 6. Levantamentos de riscos e impactos de implementação.	137
Quadro 7. Plano de Ação 5W2H.	139
Quadro 8. Descrição das Implementações	147
Quadro 9. Controle de itens de verificação de filtragem.	162

RESUMO

CORDEIRO, Joel Jr. Estratégias de controle de poluentes gasosos das indústrias do município de Toledo-pr: Técnica do *Design for Lean Six Sigma* de março de 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 10 de Março de 2020.

O crescente processo de industrialização aumenta a geração de diversos resíduos, dentre eles, os resíduos gasosos com sólidos particulados, que apresentam riscos à saúde da população. Nesse contexto o estudo objetivou o desenvolvimento de estratégias de controle de poluentes das indústrias do município de Toledo – PR por meio da Técnica do Lean e Seis Sigma, aplicada num estudo de caso de uma indústria de fiação. Na primeira parte, a metodologia contemplou o levantamento das fontes geradoras de resíduos industriais e a quantificação do potencial gerador de resíduos no município de Toledo – PR. A segunda parte contemplou o desenvolvimento de estratégias pela Técnica do Lean Seis Sigma e aplicação numa empresa de fiação de Toledo-PR. Foi apresentado o mapa de risco com dados georreferenciados das indústrias de Toledo-PR, para o período de 2018 a 2019, os resultados apontam a geração 2.926.032,158 ton.ano⁻¹ de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estima-se, que 62,9% passaram por tratamento. Foi também constatado que a fonte de dados das autarquias pesquisadas apresenta discrepâncias nos registros quantitativos de cadastro de indústrias de transformação e também dos resíduos gerados. A estratégia proposta é testada na indústria de fiação apresentou resultados satisfatórios e após os ajustes no processo produtivo a ecoeficiência apresentou o valor de 0,6612 global e Cp e Cpk igual a 1,0 comprovando o alcance de controle estatístico do processo. De modo geral, os resultados demonstram que o uso da filosofia Lean e Seis Sigma, aliado a técnicas e ferramentas, com a finalidade da produção limpa, pode ser implementado em indústrias dos diversos setores da economia.

PALAVRAS-CHAVE: *Lean Manufacturing*; industrialização; resíduos gasosos; Seis Sigma.

ABSTRACT

CORDEIRO, Joel Jr. Strategies for the control of gaseous pollutants from the industries of the municipality of Toledo-pr: Design Technique for Lean Six Sigma march 2019. Dissertation (Master's degree) - Western Paraná State University. Toledo, March 10, 2020.

The growing industrialization process increases the generation of various residues, among them, the gaseous residues with particulate solids, which present risk to the population health. In this context, the study aimed to develop pollutant control strategies for industries in the city of Toledo-PR using the Lean and Six Sigma Technique, applied in a case study of a spinning industry. In the first part, the methodology included the survey of sources that generate industrial waste and the quantification of the potential generator of waste in the municipality of Toledo-PR. The second part included the development of strategies by the Lean Six Sigma Technique and application in a spinning company in Toledo-PR. The risk map was presented with georeferenced data from the Toledo-PR industries, for the period from 2018 to 2019. The results point to the generation of 2,926,032,158 ton.year⁻¹ of solid, liquid and gaseous waste. It is estimated that 62.9% of waste underwent treatment. It was also found that the data source of the researched municipalities presents discrepancies in the quantitative records of the registration of transformation industries and of the waste generated. The proposed strategy is tested in the spinning industry and presented satisfactory results and after the adjustments in the production process, the eco-efficiency presented a value of 0.6612 global and Cp and Cpk equal to 1.0 proving the reach of statistical control of the process. In general, the results show that the use of the Lean and Six Sigma philosophy, combined with techniques and tools, for the purpose of clean production, can be implemented in industries in the various sectors of the economy.

KEYWORDS: *Lean Manufacturing*; industrialization; gaseous waste; Six Sigma.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O Brasil conta com mais de 330 mil atividades industriais, sendo as de maior importância, voltadas aos setores da indústria de alimentos, indústria petrolífera e ao setor de siderurgia com suas divisões da metal-mecânica. Para o Paraná que se localiza em uma das regiões de maior desenvolvimento econômico do país, sendo que suas atividades industriais estão distribuídas nas áreas urbanas, principalmente na prestação de serviços e processos secundários de manufatura, início da cadeia produtiva agroindustrial e no setor industrial em parques e locais destinados nos municípios para esses fins.

No Paraná o setor de fiação é o mais forte entre os segmentos da cadeia produtiva têxtil, produzindo em sua base o fio de algodão e seda, que é praticamente todo vendido para o resto do país. Nesse estado, há uma característica peculiar, mas muito importante que, aproximadamente 50% da indústria de fiação está inserida em cooperativas.

Diante do mercado cada vez mais globalizado as indústrias de fios conseguiram permanecer no mercado, mas tiveram que investir em novas tecnologias para poder concorrer com outros mercados. Portanto, este fato é de suma importância para o trabalho de pesquisa, bem porque, existe a necessidade de reavaliar os processos existentes, que geram quantidades de resíduos e, os quais, acarretam passivos ambientais.

Segundo Seiffert (2011) o avanço da degradação ambiental aparece como um sintoma da crise da civilização, estigmatizada por um modelo em uma sociedade moderna, que é subordinada pelo predomínio do desenvolvimento tecnológico sobre a organização da natureza e a utilização dos recursos naturais.

Nesse cenário, faz-se necessária a implantação de conceitos e estudos de sustentabilidade, visto que o uso de recursos naturais interligado ao crescimento de geração de fontes de resíduos gasosos com presença de particulados no ar que, provoca diversos problemas respiratórios sendo como o mais impactante e sujidades ao solo em ambientes próximos dessas fontes.

No que diz respeito ao aumento da competitividade, o foco das organizações está voltado a otimizar os recursos e a aumentar a produtividade. Todos os esforços do mundo corporativo moderno têm sido direcionados para a busca de produzir o máximo nos processos produtivos utilizando o mínimo de recursos. Para isso, diversas técnicas e metodologias têm sido desenvolvidas com a finalidade de fornecer uma abordagem estruturada para esse processo (SANTOS et al, 2012). Por conseguinte, uma das metodologias que fazem a abordagem estruturada, é a metodologia Seis Sigma aliada à filosofia do *Lean Manufacturing*. Trata-se de um conjunto de ferramentas estratégicas de gestão que as empresas podem adotar em seus negócios e processos produtivos nas organizações. Essa metodologia tem o intuito de melhorar os processos produtivos, atacando as causas raízes e obtendo níveis de qualidade requeridos pelos clientes (WERKEMA, 2016).

O uso da metodologia DMAIC preconiza a diminuição dos impactos gerados no processos fabris, uma vez que identifica e caracteriza as fontes geradoras, cria conhecimento científico específico para a área de controle ambiental, gera promoção socioambiental de colaboradores, da comunidade próxima e da sociedade. Para tanto, proporciona ligações e ações ambientais de responsabilidade, insitui princípios e diretrizes compatíveis com a natureza das atividades complexas desenvolvidas nas empresas, pois se faz como uma aplicação substitutiva para a análise da geração de resíduos suspensos no ar.

Diante dessa situação, estabelece-se a seguinte pergunta-problema: A aplicação de um projeto Seis Sigma integrado as métricas ambientais de processo produtivo industrial resulta na melhoria do nível de eficiência desse processo? E, se sim, como o resultado minimiza a geração de resíduos sólidos particulados no ar?

1.2. Objetivos

O objetivo do trabalho foi o estudo de estratégias de controle de poluentes das indústrias do município de Toledo, estado do Paraná com a aplicação da Técnica do *Lean* e Seis Sigma, proporcionando uma nova alternativa de gestão ambiental.

1.3. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram divididos em duas partes. Para a primeira parte do estudo dos resíduos industriais no município: (i) Identificar e caracterizar fontes geradoras de resíduos industriais; (ii) Monitorar as fontes de geração de poluentes industriais; e (iii) Desenvolver indicadores para avaliação de impactos. Para a segunda parte no estudo de caso: (i) Identificar e caracterizar fontes geradoras de resíduos gasosos com partículas em suspensão no ar; (ii) monitorar as fontes de geração de poluentes gasosos; (iii) desenvolver indicadores para avaliação de impactos; (iv) Realizar o estudo de vulnerabilidade “HAZOPS”; (v) analisar as causas e consequências de problemas respiratórios de colaboradores e comunidade próxima à empresa, devido ao alto nível de particulados no ar, provenientes dos resíduos gerados pela empresa em estudo; (vi) proposição de ações corretivas em âmbito técnico e comportamental; (vii) implantação e avaliação dos resultados das ações corretivas; (viii) monitoramento dos indicadores e avaliação das vantagens e desvantagens das tecnologias em uso; (ix) prospectar tecnologias de tratamento e identificação de propostas de melhoria; (x) sistematizar, implementar e operacionalizar propostas de opções tecnológicas substitutivas; (xi) validar procedimento para a medição do índice de filtragem do equipamento de tecnologia utilizado na indústria; e (xii) sistematizar resultados para a replicabilidade em processos produtivos análogos.

1.4. Justificativa

Partindo-se da premissa de uma aplicação pioneira no município de Toledo para que o controle de poluentes gasosos seja possível, a aplicação da técnica do *Lean* e Seis Sigma com a consideração das variáveis ambientais de controle de emissão de resíduos sólidos particulados em suspensão no ar, permite avaliar e estabelecer a geração de resíduos industriais. A importância de um controle ambiental rígido e eficaz nas indústrias orienta estudos detalhados dos índices de controle de geração de resíduos de suas fontes geradoras. O intuito está em propor melhorias contínuas com o uso da metodologia DMAIC aliado ao Seis Sigma, com a abordagem do uso de uma nova tecnologia de

controle ambiental nas indústrias, justo porque a filosofia *Lean* proporciona mudanças de hábito comportamental nos processos auxiliando a melhoria em avanços tecnológicos e na formação de um novo modelo com replicabilidade em processos análogos e prospecção de novas tecnologias alternativas de forma sustentável e econômica aos processos.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O marco histórico da industrialização

Industrialização se compõe de um processo histórico que teve como marco principal a produção em pequena escala em níveis sociais e econômicos estabelecidos pelos artesãos, que eram responsáveis pelo abastecimento de vilas e pequenas cidades com produtos pouco diversificados. Com o passar dos séculos e o crescimento populacional, a demanda de produtos aumentou chegando a um ponto em que os processos artesanais não eram mais suficientes para suprir as necessidades, somente ao final do século XVII, na Europa, surgiram as primeiras mudanças, evoluindo os sistemas feudais para os burgos e os primeiros comércios de médio e grande diversificação de produtos (LEAL, et al., 2008).

Assim, com advento da invenção e aplicação da máquina a vapor, momento em que a indústria passa a dominar a economia, impulsionou a urbanização e o crescimento demográfico no seu entorno. Buscou-se, por conseguinte, a implantação de novas fontes de energia, bem como da maximização dos lucros pela substituição dos modos de produção artesanais.

De fato, o processo de industrialização começou com a Revolução Industrial, que teve seu berço na Inglaterra, durante o final do século XVIII, quando as mudanças tecnológicas, o acúmulo de capitais pela sociedade da burguesia e fenômenos como o cercamento dos campos, que levou os trabalhadores para as áreas urbanas, permitiram o estabelecimento da economia de mercado, bem como do sistema capitalista (FRANCO & DRUCK, 1998).

Esse processo modificou também todas as relações sociais e econômicas em função da industrialização, ocorrendo o aumento na divisão de trabalho, conseqüentemente, houve o aumento da produtividade industrial e agrícola, da renda per capita e do estabelecimento da classe média e do padrão de consumo atual. Não obstante, a revolução criou o marco que modificou as relações sociais, que são exercidas entre os homens no desempenho das atividades econômicas e em sua vida social, as bases técnicas das atividades

humanas, os avanços científicos e suas aplicações industriais sob a forma de novas tecnologias, ficou óbvia a compreensão dos processos deflagrados da crescente transformação e da interação entre a humanidade e o planeta, isto é, entre as atividades humanas e a biosfera (FRANCO & DRUCK, 1998).

A Revolução Industrial, que se expandiu progressivamente da Europa, em específico na Inglaterra para o resto do mundo ocidental e, no século XX, revela-se modernamente no mundo oriental, destaca elementos marcantes de transformação profunda na vida dos homens e em relação ao meio ambiente e, como consequência, das condições objetivas e subjetivas da saúde humana e da sustentabilidade ambiental do planeta (MANIGONIAN, 2017).

a. Os modelos de sistemas industriais

Segundo Machline (1985) os modelos de indústrias envolvem as mais variadas classificações dos sistemas industriais e estão relacionadas segundo a atuação e produção de cada uma delas. No século XVIII, com o advento da Revolução Industrial, esse setor tem crescido muito nas últimas décadas e é responsável pela transformação da matéria-prima em produtos destinados para utilização de outras indústrias ou mesmo para o consumo da população. Basicamente, incluem as indústrias de base, intermediárias, de bens de consumo e de ponta. O Quadro 1 representa, de forma concisa, a classificação e ramo de produção.

Quadro 1. Classificação de Sistemas Industriais.

Classificação dos Sistemas Industriais	
Classificação	Produtos
Indústria Extrativa	Petróleo, madeira, minérios, carvão mineral, etc.
Indústria de Bens de Capital	Metalurgia, petroquímica, naval, etc.
Indústria Intermediária	Automóveis, máquinas, motores, computadores, etc.
Indústria de Bens Duráveis	Eletrodomésticos, eletrônicos, móveis, etc.
Indústria de Bens Semiduráveis	Telefones, roupas, sapatos, etc.
Indústria de Bens Não-duráveis	Alimentos, bebidas, cosméticos, etc.
Indústria de Ponta	Produtos de alta tecnologia.

Fonte: Adaptado. MACHLINE, 1985.

2.2. A industrialização no Brasil

A industrialização no Brasil foi, historicamente tardia ou retardatária, enquanto na Europa se desenvolvia a Primeira Revolução Industrial. O Brasil, sob um regime de economia colonial ainda devido às influências do Império Português, proibia o desenvolvimento da manufatura e da indústria devido a dois motivos - em primeiro lugar que os produtos iriam entrar em concorrência com a coroa e o comércio do reino entre outros países e, em segundo, a colônia poderia se tornar independente, o que não era atrativo à metrópole. Somente em 1808, com a vinda da família real portuguesa, o regente Dom João tomou algumas providências que começaram a favorecer o desenvolvimento industrial, entre elas, a extinção da lei que proibia a instalação de indústrias de tecidos na colônia e a liberação da importação de matéria – prima para abastecer as fábricas sem a cobrança de taxas de importação (SANTOS, 2002).

Essas medidas, porém, não surgiram efeitos esperados de grande impacto, uma vez que os estados e governos ainda estavam ligados às atividades agropecuárias exportadoras entre elas a expansão da produção de café, que era uma das provedoras de riquezas e poder na época (DENNIS, 2009). Com isso, o país chegou ao fim do século XIX sem completar a sua primeira Revolução Industrial, que só ocorreu na década dos anos de 1930.

A partir dos anos 50, o Brasil teve um aumento quanto à sua industrialização e de novos processos produtivos, no entanto, poucas indústrias se instalaram no país devido a poucos incentivos fiscais e mão-de-obra não totalmente qualificada. Analisando esse cenário, o governo federal abriu a economia para o capital internacional, atraindo indústrias multinacionais, que resultaram na instalação de montadoras de veículos. Posteriormente, nas décadas de 70, 80 e 90, a industrialização no Brasil continuou a crescer, embora mesmo com momentos pontuais de crise econômica. Atualmente, o Brasil possui uma boa base industrial, produzindo diversos produtos como, por exemplo, automóveis, máquinas, roupas, aviões, equipamentos, produtos alimentícios industrializados, eletrodomésticos e setores de tecnologia de ponta, como por exemplo, de informática (BERARDI, 2012).

Mas como todo o processo de geração de industrialização, surgiram pontos positivos e negativos. Analisando as vantagens da industrialização no

país, deflagrou-se um cenário competitivo com o mercado global, gerando mais empregos, renda e tecnologia nacional, mesmo que ainda muitas empresas dependessem de tecnologia externa do país para os seus processos produtivos.

Em contraponto, as desvantagens que foram criadas pela industrialização destacaram no meio ambiente mudanças muito específicas da história em sua relação à biosfera. Trata-se da ação das sociedades contemporâneas, seus padrões de produção e consumo, seu patamar tecnocientífico, que causaram interferências profundas nos mecanismos reguladores da biosfera (BERARDI, 2012).

Segundo Melo (2002) prevalece no setor industrial brasileiro, entretanto, uma cultura técnica que oscila entre a total irresponsabilidade ou improvisação e uma postura compreensiva emergente em matéria de controle da poluição. As condutas, em geral, são tipicamente reativas, surgindo como resposta da direção empresarial às pressões de autoridades ambientais e desaparecem ao serem executadas medidas emergenciais corretivas destinadas a resolver problemas pontuais.

2.3. A industrialização no município de Toledo

A industrialização no estado do Paraná teve seu início na década de 30 ainda sobre a influência do governo federal. Neste período, a indústria do Estado mantinha-se ligada a recursos naturais, como por exemplo, o mate e a madeira, voltada a mercados externos, do exterior ou do resto do país, pouco tendo a ver com a base e a dimensão de um mercado local. Apenas na década de 50 ocorreu a ocupação do norte do estado e um estímulo ao desenvolvimento da indústria do café. Nos anos 60, fora montado um modelo de desenvolvimento próprio, que tinha a função de acelerar a economia do estado e fortalecer as regiões com suas características produtivas locais. Na região Oeste, nessa mesma época se instalava um forte setor da economia agropecuária, no município de Toledo, assim, houve uma transformação econômico-social a qual provocou grandes alterações no padrão da região. Esse padrão se inseriu de forma mais expressiva no contexto da divisão regional de trabalho em nível nacional e internacional (RIPPEL & BORGES, 2007).

Esta transformação fora resultado da modernização ocorrida na agroindústria nacional, com a implementação do binômio agrícola soja-trigo, implicou em profundas transformações na base técnica agrícola e estimulou a instalação de grandes empresas oligopolistas no setor de exportação de grãos e seus derivados. Nesse movimento, o processo permitiu o desenvolvimento econômico dessa região, através da formação de novos encadeamentos produtivos capazes de gerar mais riqueza e aumentar o número de empregos (RIPPEL & BORGES, 2007).

Atualmente os dados da prefeitura do município de Toledo, a cidade conta com o maior Parque Industrial do Oeste do Paraná, com mais de 731 indústrias de diversos ramos de manufatura. Ademais, há um total em todo município de mais de 2.120 indústrias de transformação, cujas geram mais de 47 mil empregos (SECRETARIA DA FAZENDA DE TOLEDO, Caged, 2019).

O município de Toledo, aporta diversos ramos setoriais da indústria, cada um com suas particularidades, gerando riquezas e conhecimento técnico científico. Como ponto vantajoso, essas indústrias agregam valor ao local regional, não somente em bens faturados, mas em fortalecimento econômico e social da população. Esse fator destaca o município em seu índice de desenvolvimento humano – IDH, estando entre as dez maiores cidades do estado, com o sétimo lugar em produto interno bruto – PIB no estado do Paraná. São, portanto, grandes vantagens em que a região prospera em seu marco histórico. Porém, vale justificar, que as indústrias instaladas no município são geradoras de resíduos, sólidos, líquidos e gasosos, os quais são um ponto de desvantagem em qualquer processo produtivo, bem porque os riscos industriais afetam o meio ambiente, geram passivos ambientais, que em muitos casos não são tratados adequadamente. O município conta com a secretaria do meio ambiente que dispõe do Programa de Desenvolvimento Ambiental Sustentável de Toledo, associada às questões ambientais que norteiam o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. O intuito é contribuir com o cumprimento dos objetivos do milênio (SECRETARIA DA FAZENDA DE TOLEDO, Caged, 2019).

O Município de Toledo dispõe de todo instrumental legal à gestão moderna da proteção ao meio ambiente. Contudo, é necessário o fortalecimento de ações ligadas ao meio ambiente em curto e médio prazo, como por exemplo,

a preservação do solo e dos recursos hídricos. O tratamento adequado dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos urbanos, a educação ambiental, voltada à conservação e a preservação do meio ambiente são ações que proliferam a cultura de proteção ao meio ambiente (SECRETARIA DA FAZENDA DE TOLEDO, Caged, 2019).

2.4. Os Impactos da Industrialização

Os impactos imediatos da industrialização levam à substituição de instrumentos, técnicas e processos de produção, visando à produção em série e mecanizada. Essa situação é capaz de estabelecer padrões de homogeneidade e aprofundamento na divisão do trabalho e de sua especialização (MARTINS, 2008).

Como é necessária mão de obra, há generalização do trabalho assalariado e o conseqüente aumento do consumo. A médio e logo prazo, irá levar à concentração da riqueza e à consolidação da burguesia, bem como ao desenvolvimento do setor de serviços e à substituição do homem enquanto força de trabalho, podendo gerar desemprego (MARTINS, 2008). Por outro lado, apesar do desenvolvimento em infraestrutura, a consequência mais negativa é a degradação ambiental.

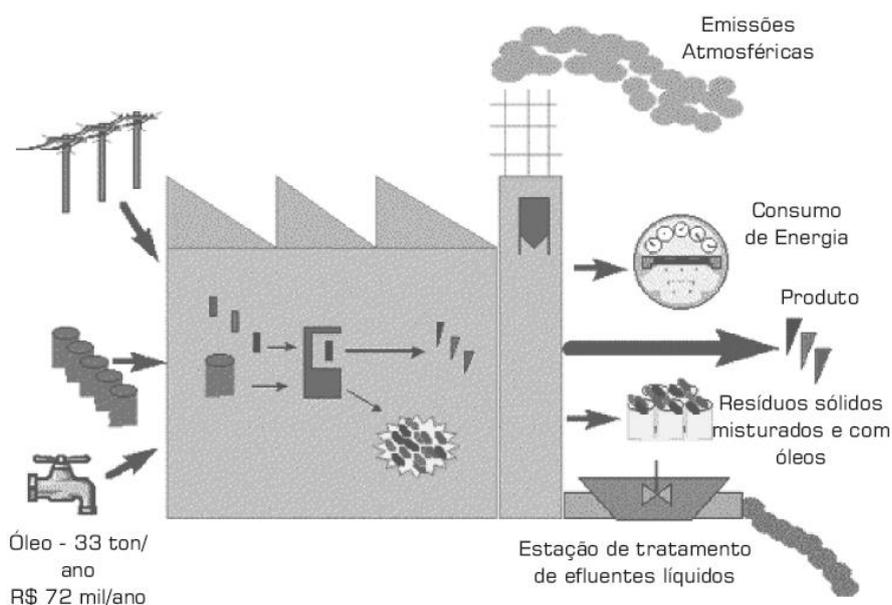
A industrialização acompanhada do processo de urbanização, sempre gera grandes impactos ambientais nas cidades e em sua população. Admite-se a ressalva, que, no entanto, que os impactos também foram e são verificados em meios ambientes afastados das regiões metropolitanas em decorrência da construção de grandes empreendimentos de engenharia. Esse contexto é sempre motivado pela própria industrialização causada pela agricultura, pecuária, silvicultura, caça e pesca dentro outros ramos que integram os processos produtivos (LEAL et al., 2008).

Com relação aos desperdícios nos processos industriais, uma grande parcela deles resulta em perdas, que na maioria dos casos geram resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Há países em que quase metade dos resíduos perigosos pertencem à indústria química. Os resíduos quase sempre são despejados em aterros que são buracos abertos no solo. As indústrias químicas mais ricas gastam muito dinheiro no controle dos seus desperdícios tóxicos.

Antes do despejo dos resíduos, são tratados de forma a que não sejam tão perigosos, mas há quem os recicle (LEAL et al., 2008).

Analisando os processos industriais, que comumente apresentam cortes, fluidos em equipamentos, óleos e graxas e que possuem um alto consumo de matérias-primas e recursos naturais, após suas etapas de processamento, gera-se uma grande quantidade de resíduos sólidos misturados, emissões atmosféricas e outros passivos ambientais. Com base nesses pressupostos, a elaboração de um balanço ambiental, tecnológico e econômico dos processos produtivos se faz necessário. A Figura 1 demonstra de maneira simplista as gerações e a emissão de resíduos da maioria das indústrias de transformação de matéria-prima (ALVES & OLIVEIRA, 2007).

Figura 1. Geração e emissão de resíduos industriais.



Fonte: ALVES & OLIVEIRA, 2007.

O desenvolvimento industrial e urbano gera aumento na emissão de poluentes atmosféricos. O acréscimo dessas concentrações atmosféricas de diversas substâncias, causa danos em florestas, degradação de construções, redução na produção agrícola e desequilíbrio em ecossistemas (ALVES & OLIVEIRA, 2007).

Segundo Bertolini (2012), no Brasil, a maior parte das grandes instalações industriais como refinarias, polos petroquímicos, centrais de geração de energia e siderúrgicas, responsável pelas emissões de poluentes para a

atmosfera, está concentrada em áreas urbanas. Porém, observa-se uma tendência à modernização das instalações industriais com o objetivo de diminuir e controlar as emissões atmosféricas. A poluição do ar, devido às características da circulação atmosférica e devido à permanência de alguns poluentes na atmosfera por largos períodos, apresenta um caráter transfronteira e é responsável por alterações ao nível planetário, que obrigam à conjugação de esforços a nível internacional.

Segundo Santos (2005) as vantagens de sistemas de controle ambiental nos últimos 20 anos no Brasil, vêm sendo acompanhadas para a prevenção e redução dos níveis de poluentes atmosféricos. A intenção é que os processos industriais sejam compatíveis com o desenvolvimento industrial e social. A gestão da qualidade do ar envolve a definição de limites toleráveis de concentração desses poluentes, com uma limitação de emissões pelas indústrias, com a criação de programas de controle interno, com métodos e técnicas, que auxiliem na criação de indicadores de controle ambiental e com novas tecnologias menos poluentes.

2.5. Otimização dos processos produtivos

Desde a criação das linhas de processos de produção, as indústrias procuram alternativas de viabilizar e aumentar suas produções, gastando menos insumos e gerando mais valor agregado a seus processos e produtos. A otimização dos processos produtivos não se restringe apenas em produzir mais em menos tempo. Mas há uma série de fatores de relevância, tais como gastos desnecessários em linha de produção e desperdícios de materiais. O fator de controle ambiental está sendo rotineiramente discutido e aplicado a novos processos. Assim, com a aplicação de uma gestão ambiental eficaz, estas demandas ambientais e sociais, que são exercidas sobre as atividades humanas são incorporadas, algumas vezes, pela conscientização da função social da empresa, ou muitas vezes, por imposições legais (OMETTO et al., 2017).

Ademais, a produção mais enxuta, busca a redução na utilização dos insumos, escolha de produtos de baixa toxicidade, reutilização de materiais,

reciclagem e manutenção adequada da infraestrutura e dos equipamentos instalados na indústria. A aplicação destas técnicas presume o conhecimento dos processos produtivos e seus impactos ambientais com o objetivo de se aplicar ações deliberadas e inovadoras a fim de minimizá-los (OMETTO et al., 2017).

Outras formas de otimização de processos mais limpos, são os controles rígidos de legislação antipoluição, que obrigue as empresas a instalarem sistemas de controle de poluentes, para o tratamento deles, gerando menores quantidades de resíduos. Utilização de fontes de energias alternativas, diminuindo o impacto ambiental da produção delas. Aplicação de ações mitigadoras de monitoramento de processos de gestão para adequação de procedimentos adotados e da eficácia dos processos produtivos mais limpos (OMETTO et al., 2017).

Por conseguinte, a otimização dos processos produtivos tem como vantagens a análise de toda a cadeia produtiva. Portanto, leva em consideração todas as peculiaridades inerentes aos processos, utilização de planejamentos de produção, entradas e saídas de processos, mapeamento de fluxo de valor da cadeia como um todo, utilização correta de recursos, diminuição de gastos energéticos e criação de controles e normas regulamentadoras para checagem da qualidade dos produtos. Como item que norteia essa pesquisa, há o controle ambiental rigoroso, com métodos e técnicas de facilitem as etapas dos processos e diminuam a geração de resíduos, sólidos, líquidos e gasosos.

2.6. A geração de resíduos industriais

O lançamento indevido de resíduos sólidos, líquidos e gasosos de diferentes fontes ocasiona modificações nas características do solo, da água e do ar, ocorrendo a contaminação do meio ambiente. A poluição ocorre quando esses resíduos alteram o aspecto estético, a composição ou a forma do meio físico, o qual é considerado contaminado quando existir a mínima ameaça à saúde da população, plantas e animais. No Quadro 2, são relacionadas as fontes de geração dos resíduos e os locais que eles podem causar poluição (PEREIRA, 2002).

Quadro 2. Comparativo de poluição de resíduos.

Geração de Resíduo	Poluição / Contaminação		
	Solo	Água	Ar
Industrial	X	X	X
Doméstico	X	X	
Veículos			X
Irrigação e Plantio	X	X	

Fonte: Adaptado. PEREIRA, 2002.

Devido à grande diversidade de atividades industriais, que ocasionam a geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, os quais são fortes geradores de poluentes do solo, da água e do ar, é necessário observar que nem todas as indústrias geram resíduos com poder impactante nesses três ambientes. Abordando uma análise simplista, em primeiro momento pode-se imaginar que o controle de emissão de poluentes é de fácil controle, porém deve-se levar em consideração que apresentam diferentes composições físicas, químicas e biológicas. Suas variações de volumes gerados em relação ao tempo de produção dos processos produtivos, geram um fator potencialmente perigoso de toxicidade, logo uma averiguação de todo o processo produtivo deve ser feita, pois cada etapa gera um resíduo que deve ser tratado, qualificado e quantificado para posterior acondicionamento, tratamento e disposição final ao meio ambiente (PEREIRA, 2002).

Os resíduos gasosos industriais são gases ou partículas que alteram a composição presente no ar atmosférico, que provam danos materiais e ocasionam prejuízos para a saúde humana, animais e plantas. Seus efeitos na forma gasosa com particulados de diferentes tamanhos, variam muito, seja em qualidade e em quantidade. Os efeitos podem ser estéticos, irritantes e tóxicos (MAZZER & CAVALCANTI, 2004).

Os resíduos gasosos podem ser de origem primária, ou seja, liberados da fonte à atmosfera, ou podem ser de origem secundária, formados por reações químicas e se agregarem a constituintes naturais da atmosfera. Os processos industriais são os principais responsáveis pela emissão de poluentes particulados, que podem se agregar ao ambiente atmosférico gerando poluentes

gasosos. No Quadro 3, há uma análise dos principais resíduos gasosos indústrias e suas consequências.

Quadro 3. Principais resíduos gasosos gerados em indústrias.

Resíduos Gasosos	Consequências
Monóxido de Carbono	Danos ao aparelho respiratório e diminuição da capacidade visual;
Óxido de Enxofre	Danos às plantas e chuvas ácidas;
Óxidos de Nitrogênio	Irritação das mucosas e carcinogênicos, danos às plantas; reagem com hidrocarbonetos produzindo oxidantes fotoquímicos e chuvas ácidas;
Hidrocarbonetos	Efeito carcinogênico; reagem com óxidos de nitrogênio produzindo oxidantes fotoquímicos;
Material Particulado	Redução da capacidade respiratória e visual, corrosão e sujeira em superfícies (edifícios, tecidos e materiais); carrear poluentes tóxicos para o pulmão;
Gás Sulfídrico	Odor desagradável; danos ao aparelho respiratório e problemas cardiovasculares em pessoas idosas;
Clorofluorcarbonos	Destruição da camada de ozônio, câncer de pele, catarata e danos à vegetação.

Fonte: Adaptado. MAZZER & CAVALCANTI, 2004.

a. Resíduos Gasosos em estudo

Os resíduos gerados no processo de manufatura do algodão geram resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Em estudo, a geração de resíduos gasosos com particulados em suspensão, que implica em um impacto direto com a saúde dos colaboradores internos e externos de indústrias, têm como foco principal a geração de produtos à base de algodão, ou seja, produtos de fiação de algodão (ROCHA, 2009).

Segundo Cherem (2004) deve-se primeiramente entender a tecnologia do fio de algodão e sua análise no processo produtivo. O algodão é a principal matéria-prima da indústria têxtil, que tem a função de atender à demanda de

tecidos, roupas e confecções para a população, visto que o vestuário é uma necessidade básica para o homem.

A formação da fibra de algodão é o resultado de um complexo processo biológico, desencadeado desde o florescimento até a abertura dos capulhos, que formam o algodão, que levam em média de 50 a 75 dias para completar esse processo (SANTANA et al., 1998). Segundo Soares (2015) os processos de fiação, além de gerar o produto de fiação, há também a geração de resíduos particulados inerentes aos processos mecânicos envolvidos nas etapas do processo produtivo. Esses resíduos são coletados através de tecnologias de filtração, que devem suprir suas demandas de depuração, com o intuito de diminuir a quantidade de material particulado na atmosfera, na forma de resíduos gasosos particulados. Um dos fatores que dificultam os processos de filtração diz respeito ao comprimento das fibras em suspensão, visto que nos processos produtivos, as fibras de algodão podem estar em tamanhos diferentes, devido aos processos de fiação exigirem comprimentos diferenciados para as máquinas funcionarem corretamente.

A Tabela 1, a seguir, apresenta a interpretação do comprimento de fibras naturais e comerciais.

Tabela 1. Interpretação do comprimento das fibras têxteis naturais e comerciais.

Categoria	Comprimento de Fibra	
	Natural (mm)	Comercial (mm)
Curta	Abaixo de 25	Abaixo de 28
Média	25 a 29	28 a 32
Longa	29 a 30	32 a 34
Longa	0 a 32	34 a 36
Muito longa	Acima de 32	Acima de 36

Fonte: Adaptado. SANTANA et al., 1998.

Os resíduos gasosos são fatores de geração de problemas respiratórios em colaboradores de indústrias devido à alta quantidade de particulados suspensos no ar. Estes problemas devem ser tratados com atenção pelas empresas, adotando controles mais rígidos e eficazes (SANTANA et al., 1998). Todavia, como vantagens, essa demanda proporciona a otimização de sistemas

de filtração, gerando novas tecnologias de tratamento e oportunidades de novos filtros e a conscientização dos colaboradores e responsáveis técnicos de controle ambiental.

b. Equipamentos para controle de geração de resíduos gasosos

Segundo Gauto & Rosa (2011) os principais poluentes da atmosfera são aqueles emitidos em quantidades significativas com uma grande variedade ou fontes diversas, que, portanto, se apresentam sistematicamente em áreas urbanas poluídas. A avaliação da qualidade do ar atmosférico visa monitorar as concentrações de poluentes na área de influência de uma indústria. Além disso, verifica o atendimento aos padrões de qualidade do ar, estabelecidos na legislação em vigor.

Para Gauto & Rosa (2011) os principais equipamentos de controle dessas emissões de poluentes gasosos com presença de particulados são:

Absorvedores: São equipamentos utilizados para a absorção de gases em que o fenômeno envolvido consiste na transferência de massa de uma fase gasosa para uma fase líquida;

Adsorvedores: É um processo seletivo e bastante utilizado para a remoção de gases presentes em baixas concentrações, como por exemplo, substâncias causadoras de odor;

Ciclones e Multiciclones: São equipamentos utilizados para realizar a separação gás/sólidos. Nos ciclones e nos multiciclones, a separação acontece pelo efeito da força centrífuga. Esta força é gerada pela entrada tangencial do gás no equipamento;

Filtros de tecido: A filtração é um dos métodos mais antigos, simples e bastante eficiente para remoção de partículas de um fluxo gasoso. As vantagens do emprego de filtros de tecidos são a alta eficiência de coleta, inclusive para partículas finas, perda de carga não é excessiva, resistência à corrosão;

Flares: São equipamentos que estão localizados no ponto de emissão dos poluentes e promovem a queima destes em espaço aberto;

Lavadores de gases: Os lavadores podem ser utilizados tanto para remoção de gases e vapores, como para remoção de material particulado. A

eficiência do lavador de gás está ligada ao tipo e à forma de contato do gás com o líquido, pois é esse contato que irá permitir a remoção dos contaminantes gasosos.

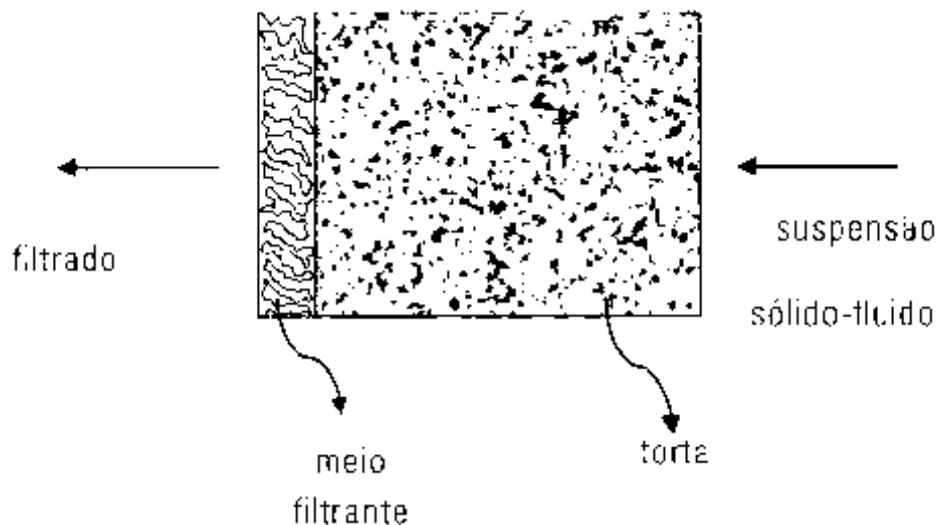
c. Os sistemas de filtração de poluentes

A operação unitária de filtração se refere à separação mecânica entre as fases particulada e fluida, presente em uma determinada suspensão, utilizando-se de um meio poroso, o qual tem a função de retenção da fase particulada e é permeável à fase fluida. Em filtração, o meio poroso é denominado de filtro, depurador ou meio filtrante, enquanto o fluido que abandona o filtro é reconhecido como filtrado. Na dependência da suspensão a ser processada, a fase particulada poderá se acumular sobre o filtro (partículas de diferentes granulometrias), atuando também como meio filtrante e recebendo o nome de “torta de filtração”. A fase particulada tem a característica da torta, que apresenta um gradiente de concentração de partículas e o meio, assim constituído, é deformável (CREMASCO, 2014).

Segundo Peçanha (2014), o termo filtração refere-se à separação de suspensões sólido-fluido. Essa suspensão é forçada através de uma barreira, ou septo de meio poroso, denominado de meio filtrante, que tem a função de reter as partículas, mas permite que o fluido o atravesse. Ao fluido, assim obtido, denomina-se filtrado, o qual pode conter partículas muito finas que atravessaram o meio filtrante. Existem, basicamente, dois mecanismos de retenção de partículas, que podem ser:

a. Para uma filtração em superfície, as partículas são retidas sobre a superfície do meio filtrante, formando um depósito conhecido por torta de filtração. Por essa razão, o processo é comumente conhecido por filtração em superfície ou filtração com formação de torta. Embora a torta aumente de espessura continuamente durante a filtração, sua porosidade deve ser tal, que permita a passagem do fluido líquido ou gasoso que irá constituir o filtrado. O meio filtrante só funciona como tal nos estágios iniciais da filtração. Posteriormente, é a própria torta que retém as partículas, com o se vê na Figura 2.

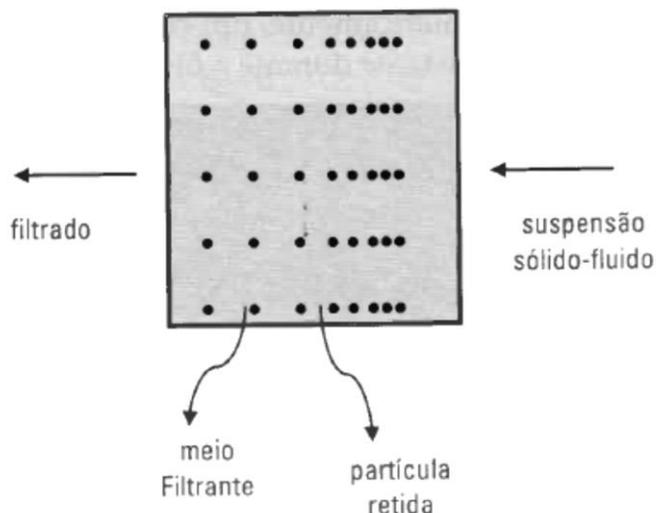
Figura 2. Filtração em superfície ou com formação de torta



Fonte: PEÇANHA, et al., 2014

b. Para uma filtração em profundidade, o meio filtrante é mais poroso e muito mais espesso que o do caso anterior. Essa condição permite analisar que as partículas, originalmente em suspensão, penetram profundamente no meio filtrante, em que elas são retidas. O processo promove um entupimento dos poros do meio filtrante conhecido por colmatação e tem uma distribuição de diâmetros de poros tal, que as partículas migram através do material até serem retidas. Diversos mecanismos de retenção podem estar presentes, dependendo não somente do tamanho e da forma das partículas e dos diâmetros dos poros, mas também da própria natureza química do fluido, de sólido e do meio filtrante. No início da filtração, as partículas são retidas exclusivamente pelo meio filtrante, e, posteriormente, retidas auxiliam na retenção de outras partículas. Este processo está exposto na Figura 3.

Figura 3. Filtração em profundidade



Fonte: PEÇANHA, et al., 2014

d. Filtros contínuos rotativos

Segundo Tadini et al., (2016), esse tipo de filtro opera, de modo contínuo, sendo que a saída do filtrado, sua formação, sua lavagem, sua drenagem e sua descarga da torta são realizadas automaticamente. Em geral, operam sob vácuo e os tipos existentes são: de tambor, de discos e horizontais. O filtro de tambor rotativo é constituído de um cilindro horizontal com a superfície externa feita de uma malha metálica ou placa perfurada, por cima da qual é fixado o meio filtrante. O tambor é dividido em setores, cada um conectado a uma tubulação sob vácuo. O cilindro é parcialmente submerso, em um recipiente que contém a suspensão sob contínua agitação e, conforme o cilindro rotaciona sob baixa velocidade, de $(0,1 \text{ a } 2,0) \text{ rad}\cdot\text{min}^{-1}$ com vácuo produzido no seu interior, a torta é formada e o filtrado é coletado no interior do cilindro. Durante o ciclo, a torta passa por sucessivos estágios de aspiração a vácuo e, no final, a mesma é retirada do cilindro, que pode ser por ar comprimido, queda livre por gravidade ou raspagem.

O filtro de disco rotativo é constituído de vários discos, os quais giram sobre o seu eixo axial, parcialmente submerso na suspensão. Cada disco é dividido em segmentos de circunferência constituídos de lâminas, como meio filtrante. Opera de maneira similar ao filtro de tambor rotativo, em geral sob vácuo (TADINI et al, 2016).

2.7. A Manufatura Enxuta

A Manufatura Enxuta, ou *Lean Manufacturing*, foi primeiramente aplicada pela *Toyota Motor Company*, no final de década de 1940, no Japão. Analisando as necessidades dos clientes observando que cada vez mais o caminho da diversificação dos produtos estava sendo necessária uma flexibilização no sistema de produção, visando um processo de manufatura mais rápido e sem desperdícios. Portanto, eliminaram-se atividades desnecessárias e que não agregavam valor ao produto (KUNIYOSHI, 2006).

Segundo Werkema (2016) *Lean Manufacturing* é uma iniciativa que busca eliminar desperdícios, isto é, excluir o que não tem valor para o cliente e imprimir uma maior velocidade ao ciclo produtivo da empresa. A filosofia *Lean* pode ser aplicada em todo tipo de processo e trabalho, uma denominação mais apropriada é o *Lean Operations* ou *Lean Enterprise*.

Em uma análise global, percebeu-se que a indústria do ocidente, representada principalmente pelas empresas *General Motors* e *Ford Motor Company*, tinha como característica a produção em massa na qual preponderava um sistema de produção em larga escala, com pouca diversificação de produtos em sua linha, enquanto no Sistema Toyota de Produção se preconizava o sistema puxado, ou seja, produzir apenas aquilo que é solicitado pelo cliente. Com este cenário, favorável às empresas japonesas, estabeleceu-se uma posição de destaque frente às empresas ocidentais. Uma forte concorrência e a pressão por diversificação de produtos obrigaram as empresas ocidentais a procurarem por flexibilizar e acelerar seus processos reduzindo custos ao mesmo tempo (KUNIYOSHI, 2006).

O cerne no *Lean Manufacturing* está na redução dos sete tipos de desperdícios identificados por Taiichi Ohno¹:

Defeitos nos produtos;

Excesso de produção de mercadorias desnecessárias;

Estoques de mercadorias à espera de processamento ou consumo;

Processamento desnecessário;

Movimentos desnecessários de pessoas;

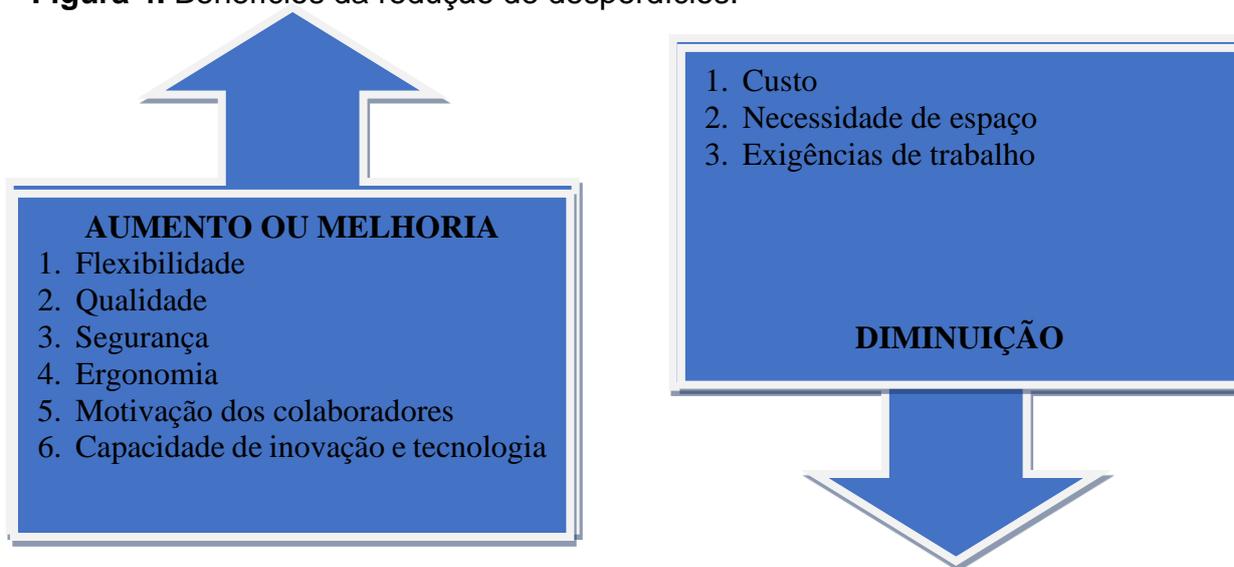
¹ Taiichi Ohno - Fundador do Sistema Toyota de Produção.

Transporte desnecessário de mercadorias;
Espera dos funcionários pelo equipamento de processamento para finalizar o trabalho ou por uma atividade anterior.

Sendo que nesse trabalho os sete desperdícios foram trabalhos em conjunto no estudo para o município de Toledo e para o estudo de caso.

A Figura 4 representa de forma esquemática os benefícios da redução de desperdícios.

Figura 4. Benefícios da redução de desperdícios.



Fonte: WERKEMA, 2011.

A Tabela 2 representa de forma simples as formas de desperdícios existentes, analisando exemplos comuns e corriqueiros para cada desperdício possível em processos produtivos.

Tabela 2. Desperdícios em setores de processos produtivos globais.

Tipo de Desperdício	Exemplos
Defeitos	Erros em faturas, pedidos, cotações de materiais e/ou matérias-primas.
Excesso de produção	Ordem de PCP errados.
Estoques	Relatórios, produtos acabados.
Processamento desnecessário	Reentrada de dados, documentos desnecessários.
Movimento desnecessário	Erro de cronoanálise, caminhos desnecessários.
Transporte desnecessário	Produto não acabado em movimento.
Espera	Sistema de dados não operante, demora em aprovações de ordens de produção.

Fonte: WERKEMA, 2011.

Para uma análise dos processos produtivos existe uma alternativa ao desperdício: o pensamento enxuto que se trata de uma forma de especificar o valor, alinhando a melhor sequência de ações a serem realizadas que agreguem valor. Assim, realizar tais ações como atividades sem interrupções toda vez que alguém as solicitar e realizá-las de modo eficaz.

De acordo com o *Lean Institute Brasil para o ano de 2018²*, os princípios básicos do *Lean* são:

a. Especificar o valor daquilo que o cliente valoriza: É o cliente e não a empresa que define o que é valor. Para o cliente, a necessidade gera o valor e cabe às empresas determinarem qual é a necessidade, procurar satisfazer o cliente e cobrar um preço justo e específico para manter a empresa no negócio. Além disso, aumentar os lucros via melhorias contínuas em seus processos, reduzindo desperdícios e melhorando a qualidade;

b. Identificar o fluxo de valor: Significa estudar a cadeia produtiva e separar os processos em três tipos – aqueles que efetivamente agregam valor – aqueles que não agregam valor, mas tem sua importância para a manutenção global dos processos. Por último, aqueles que não agregam valor e que devem ser eliminados da cadeia produtiva;

² *Lean Institute Brasil* - O LIB desenvolve atividades em todo o Brasil e coordena as ações da LGN (*Lean Global Network*) na América Latina

c. Criar fluxos de valor: Os processos devem ter fluidez para as etapas seguintes, nos quais se faz necessária a exigência de uma mudança de mentalidade. A construção de um fluxo contínuo com etapas é uma tarefa árdua, contudo, muito satisfatória, seu feito é imediato, pelas criações de fluxos contínuos, reduzindo o *setup*³ de produtos e de processamentos pedidos;

d. Produção Enxuta: O fluxo contínuo permite que as empresas não tenham mais uma visão de empurrar seus produtos acabados para o cliente, mas puxar a produção, eliminando estoques e dando valor agregado ao final;

e. Buscar a perfeição: Ela deve ser o objetivo constante de todos os envolvidos nos fluxos de valor, a busca pelo aperfeiçoamento contínuo em direção a um estado ideal deve ser o direcionamento de todos os esforços da empresa. Além de manter processos mais transparentes, dos quais os membros da cadeia tenham conhecimento dos processos globais e possam dialogar na busca contínua de melhores formas de criar valor.

Diante disso, as principais ferramentas usadas para colocar em prática as definições do *Lean Manufacturing* são:

Mapeamento de Fluxo de Valor;

Métricas *Lean*;

Kaizen;

Kanban;

Padronização;

5S;

Redução de *SETUP*;

TPM (*Total Productive Maintenance*);

Gestão Visual;

Poka-Yoke.

Analisando o mercado global nas últimas duas décadas, o número de empresas que aderiram à filosofia do *Lean Manufacturing* vem aumentando significativamente em todos os setores industriais e de serviços. Vale ressaltar que a adoção de uma nova cultura organizacional baseada no *Lean*, não significa

³ *Setup* – Desperdício de tempo de um produto acabado no processo.

que será fácil, uma vez que o fato de a organização utilizar as ferramentas, necessariamente, não significa que foi obtido pleno sucesso na implementação do *Lean Manufacturing*. A filosofia é construída e deve estar sempre em melhoria contínua (WERKEMA, 2016).

Os resultados obtidos com a implantação do *Lean*, que irá garantir uma maior rentabilidade para o negócio, estão em cumprir com as necessidades dos clientes, ou seja, oferecer os produtos que os clientes querem e no momento em que precisam, colocando preços os quais estão dispostos a pagar, baixos custos, melhor qualidade e lead time mais curtos (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2019).

2.8. O Seis Sigma

O Seis Sigma se trata de uma estratégia gerencial disciplinada à altamente quantitativa, que tem como seu principal objetivo aumentar a performance e a lucratividade de empresas. Sendo assim, ocorre por meio da melhoria na qualidade de seus processos produtivos e no aumento da satisfação do cliente e consumidores, (WERKEMA, 2016).

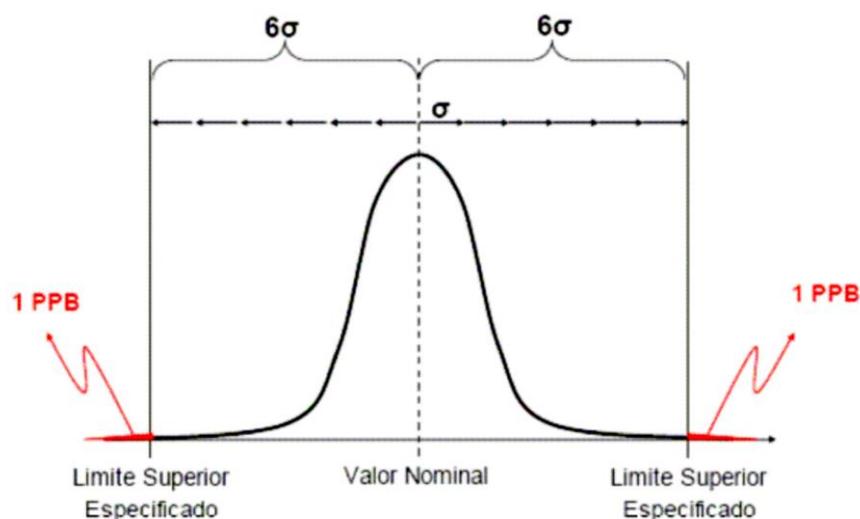
A metodologia Seis Sigma foi desenvolvida pela empresa Motorola no início da década de 1980. A existente e forte concorrência enfrentada e sua necessidade de fabricar produtos com qualidade melhor e custos mais baixos, com a liderança de Bob Galvin, desenvolveu um novo padrão para a medição de defeitos por milhão de oportunidades. Por conseguinte, iniciou um processo de mudança cultural na organização para que as alterações fossem eficazes. O Seis Sigma ajudou a empresa Motorola a obter ganhos de aproximadamente US\$16 bilhões, nessa época e, ainda ajuda a agregar valor aos seus processos produtivos (KUNIYOSHI, 2006).

O termo Sigma se remete à forma de se aferir o número de defeitos do processo em estudo, ou seja, afere a capacidade do processo trabalhar sem cometer falhas. Quando se fala em um processo Seis Sigma, significa uma redução na variação no resultado entregue aos clientes numa taxa de 3,4 defeitos por milhão ou 99,99966%.

A letra grega σ (Sigma), que está inserida na representação do cálculo do sigma estimado, é baseada nos valores do gráfico de dispersão do gráfico de

controle. Ela pode ser baseada na amplitude móvel, amplitude ou desvio padrão entre os itens de uma mesma amostra conforme visto na Figura 5.

Figura 5. Processo 6 Sigma



Fonte: WERKEMA, 2011.

O Nível Sigma é baseado na “quantidade de sigmas” que podem ser encaixados entre a média do processo e seu limite de especificação mais próximo. O processo abaixo é um processo de Nível Sigma igual a 6:

Para entender como a variação representa, a Tabela 3 estabelece a comparação de processos com performance Quatro Sigma (99,38% de eficiência) e Seis Sigma (99,99966% de eficiência).

Tabela 3. Comparativo entre 4 sigma e 6 sigma.

4σ	6σ
7 horas de falta de energia elétrica/mês	1 horas de falta de energia elétrica/mês
5000 peças erradas de rolamentos /semana	1,7 peças erradas de rolamentos /semana
15 quilos de prime produzido errado /dia	1 quilos de prime produzidos errado/7 meses

Fonte: Adaptado. WERKEMA, 2013.

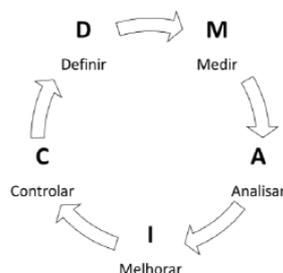
No Brasil, o interesse pelo Seis Sigma está crescendo cada vez mais, em poucos anos. As empresas cujas unidades de negócio no exterior já adotavam essa mudança de cultura, estão implementando no país. Os resultados das organizações que estão adotando o programa têm superado as

expectativas de seus indicadores, e existe vários projetos Seis Sigma cujo retorno é da ordem de milhões em ganhos nessas empresas.

O programa Seis Sigma enfoca os objetivos estratégicos da empresa e estabelece que todos os setores do processo produtivo tenham para a sua sobrevivência e planejem o futuro das organizações. Ademais, há necessidade que possuam metas de melhorias baseadas em métricas quantizáveis, as quais serão atingidas por meio de esquemas de aplicação de projeto por projeto (WERKEMA, 2016).

Por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores, o Seis Sigma pode ser definido como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa. Visa, portanto, o aumento da lucratividade das empresas através da melhoria da qualidade dos produtos e processos e, conseqüentemente, acontece o aumento da satisfação de clientes e consumidores. Se implementado com rigor e disciplina, o programa Seis Sigma traz ganhos rápidos, utilizando como base a metodologia estruturada do DMAIC, conforme representado na Figura 6 (WERKEMA, 2016).

Figura 6. Representação do Ciclo DMAIC



Fonte: BELCHIOR, 2018.

Segundo Werkema (2016) tais projetos são conduzidos por equipes lideradas por especialistas do Seis Sigma, com base na metodologia do DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Cada etapa da metodologia é aplicável em forma de ação no âmbito do *Gemba* (local de trabalho industrial). As divisões das etapas da metodologia serão:

1ª Etapa – Definir (*Define*) – Define o problema, justifica-o e organiza o projeto: Nessa etapa, é realizado o levantamento de dados em banco histórico da

empresa, montando um mapa SIPOC, formulando uma carta de controle para a análise dos dados, que servirão para justificar o processo a ser melhorado e organizando. O projeto, nesta etapa é feito pelo pesquisador unicamente, utilizando ferramentas do planejamento experimental, um modelo de etapas a serem seguidas, representadas na Figura 7 a seguir:

Figura 7. Representação das etapas do *DEFINE*

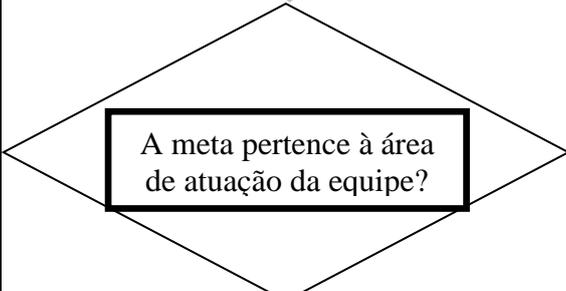
D	Atividades	Ferramentas
Define (Definir)	Levantamento de dados ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de Raciocínio
	Descrever o problema e definir a meta ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Project Charter
	Avaliar o histórico do problema e estratégias da empresa ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Project Charter • Métricas do Seis Sigma • Gráfico Sequencial • Carta de Controle • Análise de Séries Temporais • Análise Econômica
	Avaliar se o projeto é prioritário para a empresa ↓	
	<div style="text-align: center;"> <pre> graph TD A{O projeto deve ser desenvolvido?} -- SIM --> B[] A -- NÃO --> C[Selecionar novo Projeto] style B fill:none,stroke:none </pre> </div>	
	Definir participantes da equipe e suas responsabilidades, as possíveis restrições e suposições e o cronograma preliminar ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Project Charter
	Identificar as necessidades principais ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Voz do cliente
	Definir o principal processo envolvido no projeto	<ul style="list-style-type: none"> • SIPOC

Fonte: Adaptado. WERKEMA, 2013.

2ª Etapa – Medir (*Measure*) – Realiza as estratificações e define as metas para alcançar os objetivos geral e específico. Nessa etapa, do processo é feita a escolha dos estratos do processo em estudo. Esta etapa acontece em equipe,

constituída do pesquisador e de colaboradores da empresa em estudo. Definindo os objetivos específicos e objetivo geral com o trabalho, promove-se o conhecimento e responsabilidade do projeto, conforme a Figura 8, demonstra as etapas a serem seguidas no *Measure*.

Figura 8. Representação das etapas do *MEASURE*

M	Atividades	Ferramentas
Measure (Medir)	Devidir entre as alternativas de coletar novos dados ou usar os já existentes; 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do sistema de medição e inspeção;
	Identificar a forma de estratificação do problema; 	<ul style="list-style-type: none"> • Estratificação;
	Planejar a coleta de dados; 	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de Dados; • Folha de Verificação; • Amostragem;
	Preparar e testar o sistema de medição e inspeção; 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do sistema de medição e inspeção;
	Coletar dados; 	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de Dados; • Folha de Verificação; • Amostragem;
	Analisar o impacto das variáveis do problema e identificar os problemas prioritários; 	<ul style="list-style-type: none"> • Estratificação; • Diagrama de Pareto;
	Estudar as variações do problemas prioritários identificados; 	<ul style="list-style-type: none"> • Carta de Controle; • Análise de Séries Temporais; • Histograma; • Boxplot; • Capacidade de Processo; • Métricas Seis Sigma;
	Estabelecer a meta de cada problema prioritário. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo Matemático.
	<div style="text-align: center;">  <p style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">A meta pertence à área de atuação da equipe?</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-left: 10px;"> <p>NÃO</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-left: 10px;"> <p>Atribuir à área responsável e acompanhar o projeto para o alcance da meta.</p> </div> </div>

Fonte: Adaptado. WERKEMA, 2013.

3ª Etapa – Analisar (Analyze) – Mapear o processo, levanta e prioriza as causas para prová-las: Nessa etapa, a equipe faz o mapeamento do processo, constituído de mapa de fluxo de valor (MFV) junto com o mapa de processo (SIPOC) para o levantamento e priorização das causas a serem trabalhadas. O modelo de etapas a serem seguidas, estão descritos na Figura 9:

Figura 9. Representação das etapas do *ANALYZE*

A	Atividades	Ferramentas
Analyze (Analisar)	Analisar o processo gerador de problema prioritário; 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluxograma; • Mapa de Processo; • Mapa de Produto; • Análise de tempo do Ciclo;
	Analisar dados do problema prioritário e de seu processo gerador; 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação dos sistemas de medição; • Histograma; • Boxplot; • Estratificação; • Diagrama de dispersão;
	Identificar e organizar as causas potenciais do problema prioritário; 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Brainstorming</i>; • Diagrama de Causa e Efeito; • Diagrama de Afinidades; • Diagrama de Relações;
	Priorizar as causas potenciais do problema prioritário; 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de Matriz; • Matriz de Priorização;
	Quantificar a importância das causas potenciais prioritárias.	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do sistema de mediação e inspeção; • Carta de Controle; • Diagrama de dispersão; • Análise de regressão; • Teste de hipóteses; • Análise de Variância; • Planejamento Experimental; • Análise de Séries Temporais.

Fonte: Adaptado. WERKEMA, 2013.

4ª Etapa – Melhorar (Improve) – Propõe as soluções, prioriza, analisa riscos, custos e elabora o projeto de implementação. Nesta etapa, é realizado com a

equipe a fase mais importante, pois há necessidade de eficiência da metodologia como principal indicador de sucesso, pois com a proposta de soluções, priorizam-se os ganhos econômicos e ambientais, analisa os riscos envolvidos e implementa o plano de controle. Esta etapa é a mais importante, pois será aplicada a mobilização social dos colaboradores, treinamentos para as métricas ambientais, discussões e *brainstorming*, entre os colaboradores e equipe responsável. As etapas estão dispostas na Figura 10:

Figura 10. Representação das etapas do *IMPROVE*

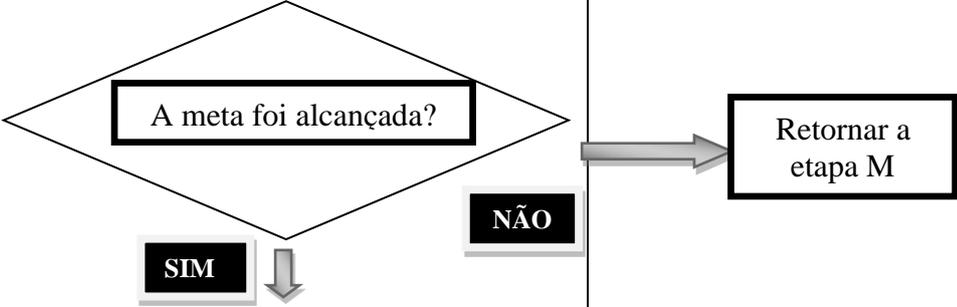
I	Atividades	Ferramentas
Improvee (Melhorar)	Gerar ideias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritário; ↓	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Brainstorming</i>; • Diagrama de Causa e Efeito; • Diagrama de Afinidades; • Diagrama de Relações;
	Priorizar as soluções potenciais; ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de Mariz; • Matriz de Priorização;
	Avaliar e minimizar os riscos das soluções prioritárias; ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar o <i>Stakeholder</i>;
	Testar em pequena escala as soluções selecionadas; ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Testes de Operação; • Simulação de Metas;
	Identificar e implementar melhorias ou ajustes para as soluções selecionadas. ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Teste de Hipóteses;
	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">A meta foi alcançada?</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">SIM</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">NÃO</div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; display: inline-block;">Retornar a etapa M</div>
	Elaborar e executar um plano para a implementação das soluções em larga escala.	<ul style="list-style-type: none"> • 5W2H • Diagrama de Processo.

Fonte: Adaptado. WERKEMA, 2013.

5ª Etapa – Controlar (Control) – Verifica o alcance dos objetivos geral e específico, implementa indicadores de controle e responde a problemática:

Nessa última etapa, em equipe, têm-se a comprovação dos resultados em termos de eficiência, uma vez que o processo nesse ponto apresentará o retorno ambiental e econômico, descrevendo o padrão a ser seguido, agregando conhecimento aos colaboradores e à empresa em estudo. As etapas a serem seguidas estão esquematizadas na Figura 11:

Figura 11. Representação das etapas do *CONTROL*

C	Atividades	Ferramentas
Control (Controlar)	Avaliar o alcance da meta em larga escala; 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do sistema de medição e inspeção • Carta de Controle • Histograma • Métricas do Seis Sigma
		
	Padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas;	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimentos Padrão; • Poka-Yoke;
	Transmitir os novos padrões a todos os envolvidos;	<ul style="list-style-type: none"> • Manuais; • Reuniões; • Palestras; • <i>On the Job Training</i>;
	Definir e implementar um plano para a tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo;	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do sistema de medição e inspeção; • Folha de Verificação; • Cartas de Controle; • Métricas dos Seis Sigma; • Auditoria de usos de padrões;
	Definir e implementar um plano para monitoramento de performance do processo e do alcance da meta;	<ul style="list-style-type: none"> • Relatórios de Anomalias.
	Sumarizar o que foi aprendido e fazer recomendações para futuros trabalhos.	

Fonte: Adaptado. WERKEMA, 2013.

2.9.O *Lean* e o *Seis Sigma*

A metodologia *Lean*, mesmo sendo abordada de maneira eficaz para a redução de *lead time* e a eliminação de atividades que não adicionam valor, apresenta algumas limitações, que devem ser levadas em consideração.

Para identificar alguns aspectos em que o cliente considera qualidade utilizando o conceito de *Lean*, aliado à aplicação do *Design for Lean Six Sigma* que agregue valor, isso não é feito de maneira direta com o cliente, mas de uma maneira interna sobre o que se julga necessário adicionar uma atividade que agregue valor ou não. A filosofia apesar de considerar um defeito como sendo um tipo de desperdício, não utiliza ferramentas específicas para a eliminação das fontes que variam o processo e cujas são causadoras de desperdícios. A metodologia, geralmente parte de melhorias, ressaltando a importância e os benefícios da utilização da ferramenta do DMAIC. Sendo assim, atua em uma melhor definição do escopo do problema, foca nas questões mais críticas e avalia as alternativas para a tomada de decisões baseadas em fatos e dados coletados do processo (KUNYOSCHI, 2006).

Para o *Lean*, com o auxílio das ferramentas utilizadas no *Seis Sigma*, as descrições dos processos, não abordam diretamente a identificação de desperdícios, pois não levam em conta o tempo de *setup*, tempo de processamento e entre outros. Logo, é necessário um incremento da filosofia do *Lean Manufacturing*, que agrega ferramentas para uma robustez melhor da metodologia, como por exemplo, o Mapeamento de Fluxo de Valor, a Manutenção Produtiva Total (TPM) e o 5S (VENANZI & LAPORTA, 2017).

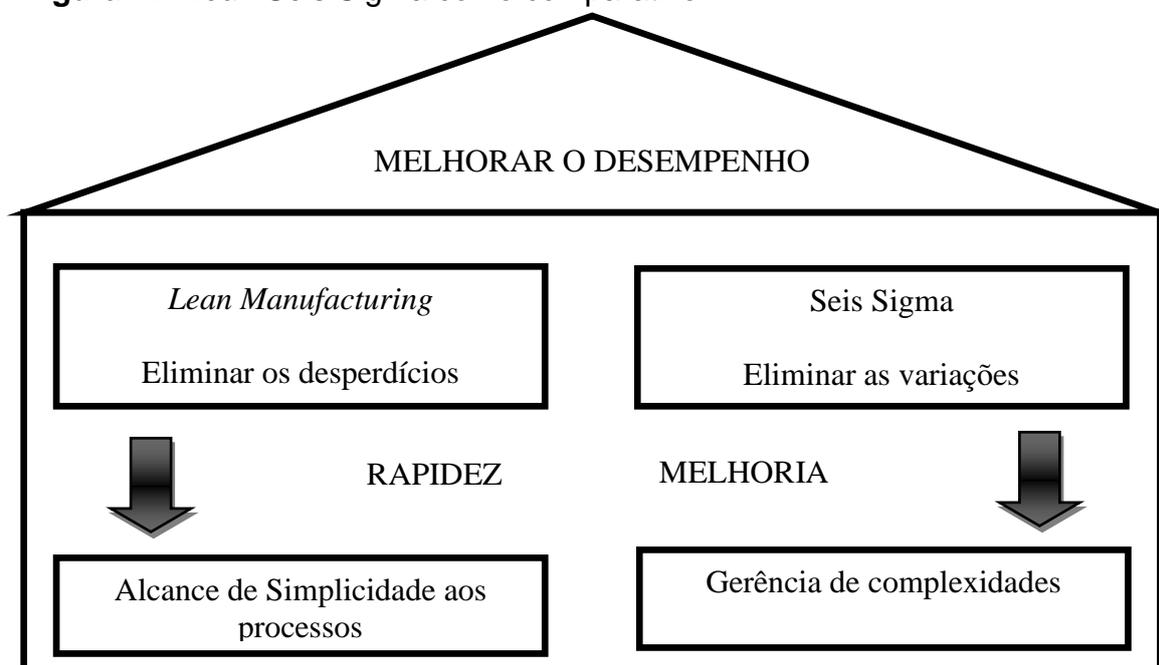
O *Lean* e o *Seis Sigma* remetem a uma ação de gestão da qualidade de domínio organizacional, que tem como objetivo a visão de obter resultados mais concretos e tangíveis, melhorando a qualidade dos processos envolvidos. Tais processos se tornam mais eficientes e criam valor agregado. A integração da filosofia com o ferramental resulta em uma estratégia de melhoria efetiva, que tem como desejo uma implementação sem prazo de validade, a qual visa a eliminação de desperdícios e problemas de qualidade em processos (NOGUEIRA & COTRIN, 2016).

Segundo Werkema (2013), a união do *Lean* com o *Seis Sigma* resulta em uma estratégia poderosa, em que o *Lean* é fundamentado na filosofia da

produção enxuta, que visa a eliminação dos desperdícios e colabora para o aumento da produtividade, em que altera a maneira como as organizações trabalham e faz com que os investimentos financeiros possam ter um retorno mais rápido. O foco do Seis Sigma é voltado para a otimização de produtos, serviços e processos e tem o objetivo de satisfazer clientes e consumidores.

A metodologia *Lean* auxiliada pelo Seis Sigma se trata de uma estratégia mais abrangente, é adequada para todos os tipos de problemas relacionados com a melhoria de processos e produtos. Seus objetivos são representados na Figura 12 (WERKEMA, 2013).

Figura 12. *Lean* Seis Sigma como comparativo.



Fonte: Adaptado. WERKEMA, 2013, p 27.

a. Integração entre o *Lean Manufacturing* e o Seis Sigma

A integração da filosofia do *Lean Manufacturing* e as ferramentas do Seis Sigma são feitas em harmonia e naturalidade, pois as organizações podem e devem usufruir dos pontos fortes de ambas as estratégias. O *Lean* não conta com um método estruturado e profundo de solução de problemas, muito menos com aplicação de ferramentas estatísticas para mourejar com a variabilidade, um aspecto que pode ser complementado pelas ferramentas dos Seis Sigma. Por

outro lado, o Seis Sigma não enfatiza a melhoria da velocidade dos processos e a resolução do *lead time*, aspectos que constituem o núcleo do *Lean Manufacturing* (WERKEMA, 2013).

Os pontos mais fortes estão em um comparativo na Tabela 4 abaixo, a qual demonstra as oportunidades de complementação entre os programas, enfatizando conjuntamente a melhoria de processos.

Tabela 4. Comparativo entre Seis Sigma e *Lean Manufacturing*

Seis Sigma	Lean Manufacturing
<ul style="list-style-type: none"> • Emprego de métodos estruturados para o alcance de metas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendências para a ação imediata no caso de solução de problemas de escopo restrito e de baixa complexibilidade por meio dos eventos <i>Kaizen</i>;
<ul style="list-style-type: none"> • Utilização, para análise de dados, de ferramentas estatísticas poderosas, que auxiliam na resolução de problemas complexos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de técnicas simples para análise de dados durante os eventos <i>Kaizen</i>;
<ul style="list-style-type: none"> • Busca de redução de variabilidade; 	<ul style="list-style-type: none"> • Busca de redução do <i>lead time</i> e do trabalho em processo;
<ul style="list-style-type: none"> • Ênfase na redução de custos e de defeitos definidos pelos clientes; 	<ul style="list-style-type: none"> • Ênfase na maximização de velocidade dos processos;
<ul style="list-style-type: none"> • Seleção de projetos associados às metas estratégicas da empresa; 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleção de projetos estratégicos identificados pelo Mapeamento de Fluxo de Valor e de projetos de interesse exclusivo para alguma área da empresa;
<ul style="list-style-type: none"> • Foco na melhoria de produtos e não apenas na melhoria de processos; 	
<ul style="list-style-type: none"> • Infraestrutura de patrocinadores e especialistas; 	
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada dedicação dos especialistas; 	
<ul style="list-style-type: none"> • Envolvimento de todas as pessoas da empresa nos diferentes níveis de aprofundamento do programa; 	
<ul style="list-style-type: none"> • Processos de contratação, treinamentos, promoção, reconhecimento e recompensa, incentivando a consolidação da cultura do Seis Sigma. 	

Fonte: Adaptado. WERMEMA, 2013.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia se divide em duas partes - na primeira, foi realizada uma pesquisa das fontes geradoras de resíduos industriais no município de Toledo, no estado do Paraná. Na segunda, um estudo de caso para o desenvolvimento de um modelo de processo de produção limpa, em uma empresa de Fios instalada no município de Toledo, no estado do Paraná.

A descrição dos procedimentos adotados em cada uma das duas etapas é apresentada a seguir:

Na Parte I, optou-se pela pesquisa quantitativa, levantamento de dados e indicadores com base nas fontes do RAIS, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, ECONODATA, Instituto Ambiental do Paraná - IAP e Secretaria Municipal do Meio Ambiente do município de Toledo – SMMA. O tratamento dos dados levou em consideração a quantidade e a classificação das atividades para as indústrias de transformação, a matéria-prima utilizada na transformação de seus processos, a quantidade de resíduos gerados e as quantidades de resíduos em destinação correta de tratamento. O formato dos resultados apresentados, aconteceram em forma de tabelas, gráficos e mapas temáticos. De modo geral, foram contempladas subetapas: 1) Levantamento das fontes geradoras de resíduos industriais com a identificação e caracterização das fontes geradoras no município de Toledo, estado do Paraná; 2) Monitoramento das fontes de geração de poluentes industriais; 3) Estudo e avaliação dos impactos gerados pelos poluentes industriais.

Etapa 1) Levantamento das fontes geradoras de resíduos industriais com a identificação e caracterização das fontes geradoras no município de Toledo, estado do Paraná

De caráter quantitativo, há a identificação e a caracterização das fontes geradoras de resíduos industriais no município de Toledo, através de pesquisa bibliográfica nos órgãos responsáveis em âmbito estadual e municipal de controle ambiental sendo estes o RAIS, IGBE, IAP e SMMA (Secretaria Municipal do Meio Ambiente). Por conseguinte, compõe-se os dados dos indicadores de

identificação e caracterização das fontes geradoras dos setores industriais e as quantidades de resíduos gerados nos mesmos.

Etapa 2) Monitoramento das fontes de geração de poluentes industriais

Monitoramento das fontes geradoras de resíduos industriais de forma a comparar as quantidades geradas com base em banco de dados do IBGE e SMMA (Secretaria Municipal do Meio Ambiente) pesquisados das fontes de controle ambiental estadual e municipal para o município de Toledo, no estado do Paraná.

Etapa 3) Estudo e avaliação dos impactos gerados

Estudo e análise dos dados de geração de resíduos industriais, estabelecendo os impactos ambientais gerados no município de Toledo, no estado do Paraná. O intuito é visualizar o panorama atual da distribuição das indústrias no município e propor soluções que minimizem os passivos ambientais gerados pelas mesmas.

Na Parte II, no ambiente industrial, optou-se pela pesquisa quantitativa com a coleta de dados do histórico de geração de resíduos sólidos particulados para a especificação dos indicadores e sua correspondente otimização nos moldes da produção limpa. Esta parte do trabalho contemplou a realização de cinco etapas (segundo a metodologia DMAIC): 1) DEFINIR (*DEFINE*); 2) MENSURAR (*MEASURE*); 3) ANALISAR (*ANALYZE*); 4) MELHORAR (*IMPROVE*); e 5) CONTROLAR (*CONTROL*).

1) DEFINIR (*DEFINE*)

Esta etapa consiste na visualização do processo de depuração, descrição dos indicadores e métricas, confiabilidade de dados e a justificativa do desenvolvimento do projeto. Para tanto, a pesquisa teve caráter quantitativo e a caracterização das fontes geradoras dos resíduos em estudo foi realizada a partir

da investigação *in loco*, no âmbito industrial *Gemba*⁴, baseada em dados coletados pela equipe de apoio junto ao pesquisador. Em cada caso, a tabulação dos dados a serem utilizados foi realizada por meio de planejamento experimental controlado, utilizando o software estatístico MINITAB 18, que fornecerá gráficos, tabelas, cartas de controle e tabelas comparativas de processos.

Nessa etapa da pesquisa, procurou-se obter informações necessárias para as etapas subsequentes que são: a) a visualização de processo de depuração instalado em ambiente industrial; b) a descrição dos indicadores e da métrica a ser utilizada; c) a descrição da Confiabilidade dos dados; e d) a descrição da justificativa do projeto a ser realizado.

a) Visualização de processo de depuração instalado em ambiente industrial

Para obter a problemática da pesquisa, primeiramente foram estabelecidas visitas a um processo de depuração, instalado em uma indústria de fios têxteis, no município de Toledo. O objetivo é analisar a aplicação na forma de estudo de caso, observa-se *in loco* o ambiente industrial, através de uma vistoria sistêmica para a análise da quantidade de particulados em suspensão, que proporciona vários problemas ao processo produtivo e aos colaboradores.

b) Descrição dos indicadores e da métrica a ser utilizada

Nesta etapa, foram estabelecidos os indicadores de eficiência do processo produtivo, as características e peculiaridades inerentes ao processo. Terá forte base na geração de banco de dados e apresentação de gráficos em forma de cartas de controle, BoxPlot, análises temporais, quadros e tabelas descritivas a partir dos indicadores estabelecidos.

O primeiro indicador compõe o valor da pesagem das coletas de massa dos filtros do sistema de depuração instalado no processo. Cada turno realiza uma coleta, gerando três coletas por dia em períodos estipulados pelo

⁴ Gemba: Termo adaptado da língua japonesa que significa – Local de Trabalho.

pesquisador, na forma de quantidade mássica de filtrado representado pela variável descrita como $m_{filtrado}$, em kg.

O segundo indicador, trata da quantidade de massa do particulado filtrado pela área instalada no depurador em uso, o qual pode ser calculado pela Equação 1.

$$Q_R = \frac{m_{filtrado}}{A_f} \quad (1)$$

Em que: Q_R corresponde à vazão de massa de filtrado pela área instalada no depurador, em $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; $m_{filtrado}$: corresponde à massa coletada do depurador em seu ciclo de operação por turno, em kg; A_f : corresponde à área de filtração do depurador instalado, em m^2 .

O terceiro indicador trata da quantidade de massa do particulado filtrado pelo ciclo de 24 horas em uso no processo. Pode ser calculado pela Equação 2.

$$Q_m = \frac{m_{filtrado}}{\Delta t} \quad (2)$$

Em que: Q_m corresponde à vazão mássica de filtrado no depurador, em $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$; $m_{filtrado}$: corresponde à massa coletada do depurador em seu ciclo de operação por turno, em kg; Δt : corresponde ao tempo de filtração do depurador instalado, em h.

O quarto indicador se remete ao controle de temperatura instalado no processo produtivo, que monitora a temperatura interna da unidade industrial por unidade de tempo, este valor será gerado pelo supervisor conectado ao CLP⁵ do equipamento de monitoramento.

O quinto indicador se refere ao controle de umidade relativa UR% por unidade de tempo, que consta de um sensor controlado pelo supervisor conectado ao CLP do equipamento de monitoramento.

O sexto indicador trata do número de colaboradores que apresentaram problemas respiratórios inerentes ao processo produtivo de fiação de algodão.

⁵ CLP: Controlador Lógico Programável.

Este indicador será gerido pelo SESMT⁶ e CIPA⁷ da empresa em estudo seguindo o procedimento do “PEAK FLOW”.

O procedimento de “PEAK FLOW”, refere-se ao fluxo mais elevado que um indivíduo pode gerar durante um esforço expiratório iniciado após uma inspiração máxima. Este pico de fluxo é medido e os seus valores serão indicativos de presença de resistência ao fluxo aéreo nas vias aéreas.

O exame é realizado durante o período de adaptação do colaborador na indústria, logo na primeira semana assim que o colaborador faz o registro no cartão ponto, na entrada do turno (antes do mesmo começar a trabalhar na sua máquina). E na saída do turno (o colaborador irá se dirigir até a sala do Técnico de Segurança, 15 minutos antes do turno acabar para fazer o exame), fazendo assim o acompanhamento do sopro, se repete na quarta semana e na sétima semana.

c) Descrição da Confiabilidade dos dados

O banco de dados gerido deve ser confiável. Coletas e monitoramentos serão realizados a fim de obter a confiabilidade e segurança das informações, junto ao suporte da equipe técnica e do pesquisador resultando em um banco de dados contínuo para a empresa.

d) Descrição da justificativa do projeto a ser realizado

Nesta etapa, será elaborado o “*Project Charter - Business Case*”, um acordo de descrição e alinhamento junto à empresa em estudo e o pesquisador, validando-o para a pesquisa.

⁶ SESMT: Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho.

⁷ CIPA: Comissão Interna de Prevenção de Acidentes

2 MENSURAR (MEASURE):

Esta etapa compreende a análise dos dados, a estratificação, a elaboração da ECOEFICIÊNCIA e a especificação das metas para o melhoramento do processo de depuração dos resíduos industriais. No processo, foi realizada: a) a análise e estratificação dos fatores, que geram o problema de depuração; b) a elaboração do indicador “ECOEFICIÊNCIA; c) a elaboração das Metas Específicas.

a) Análise e estratificação dos fatores que geram o problema de depuração

Após ter estabelecido os indicadores, será feita a estratificação nos depuradores demonstrando qual apresenta maior variabilidade em seu sistema de funcionamento. De início, serão estabelecidos os focos do problema, ou seja, os estratos mais significativos, com a geração de gráficos dos indicadores para a observação da veracidade do problema. O intuito é alinhar o projeto às metas e aos objetivos propostos.

b) Cálculo do indicador “ECOEFICIÊNCIA

A ecoeficiência relacionada ao valor do produto ou serviço se caracteriza pela média da vazão mássica de resíduo coletado no depurador ao tempo de operação de 24 horas interruptas, demonstrada pela Equação 3:

$$\text{ECOEFICIÊNCIA} = \frac{\text{VALOR DO PRODUTO OU SERVIÇO}}{\text{LEAD TIME}} \quad (3)$$

Em que: ECOFICIÊNCIA corresponde à união entre o fornecimento de bens e serviços sustentáveis a preços competitivos, que satisfaçam as necessidades humanas. Assim, promove a redução dos impactos ambientais e de consumo de recursos naturais; VALOR DO PRODUTO OU SERVIÇO: corresponde ao coletado mássico no depurador, em kg; LEAD TIME:

corresponde ao tempo de atravessamento das partículas no depurador, em horas.

3 ANALISAR (ANALYZE)

Esta etapa consiste em: a) Descrição das Causas potenciais que influenciam no problema e b) na Comprovação das causas priorizadas.

Como resultado da pesquisa têm-se a descrição detalhada do processo com todas as variáveis de entrada e saídas do sistema de depuração de resíduos.

a) Descrição das Causas potenciais que influenciam no problema

Esta etapa tem a finalidade de descrever as causas potenciais que justificam a eficiência gerada no sistema de depuração. Por fim, resultará em um Diagrama de Causa e Efeito conhecido também como Diagrama de *Ishikawa*, que é construído com base em um “*Brainstorming*”, ou também nomeado de tempestade de ideias, gerando uma “Matriz de Priorização”. Essas etapas servirão de base para o desenvolvimento das ações corretivas a serem aplicadas no processo em estudo de depuração para o procedimento de priorização das mesmas e gerando os seus resultados.

b) Comprovação das causas priorizadas

Nessa etapa, a equipe deve detalhar o procedimento de priorização das causas e como podem ser comprovadas, por meio de gráficos, tabelas, quadros e análises temporais do processo de depuração.

4 MELHORAR (*IMPROVE*)

Esta etapa consiste na aplicação de melhorias nos indicadores e sua correspondente avaliação das vantagens e desvantagens das tecnologias em uso. Para tanto, contempla os testes de soluções, com base nas ações do 5W2H (plano de ação), as descrições das soluções, suas necessidades de prioridades, a análise de riscos inerentes ao processo, os testes aplicados e suas comprovações reais. Além disso, estão os planos de ação para uma implementação em larga escala e a comprovação dos resultados das metas específicas, que estão atreladas ao objetivo geral e aos objetivos específicos do estudo.

5 CONTROLAR (*CONTROL*)

Esta etapa consiste no controle sistemático dos indicadores após o aplicação do plano de ação para a implementação e operacionalização de propostas de tecnologias corretivas e/ou substitutivas.

A análise de viabilidade econômica, social e sustentável de novas tecnologias, que auxiliem para um ambiente de trabalho melhor e controlado, a geração de conhecimento científico, com base sólida em argumentos e as comprovações estatísticas de controle de processos, devem auxiliar na gestão otimizada dos poluentes gasosos contendo sólidos particulados.

Ademais, com a aplicação da técnica do *Lean* e Seis Sigma é possível a verificação das vantagens e desvantagens presentes, tais como: necessidade de um monitoramento mais atuante pelas próprias empresas, das quantidades de resíduos industriais gerados, seus impactos gerados da sociedade e no meio ambiente; uma nova ferramenta de controle estatístico para averiguação e controle de resíduos gerados; pouco conhecimento pela parte das empresas na filosofia do *Lean Manufacturing* e do Seis Sigma; definiu-se um cenário adequado a ser buscado a propositura de um novo modelo de gestão, permitindo a avaliação dos prós e contras para o modelo utilizado atualmente pelas indústrias.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RESULTADOS DA PARTE 1 - Fontes geradoras de resíduos industriais no município de Toledo - PR

4.1.1. Identificação e caracterização de fontes geradoras de resíduos industriais no município de Toledo, estado do Paraná

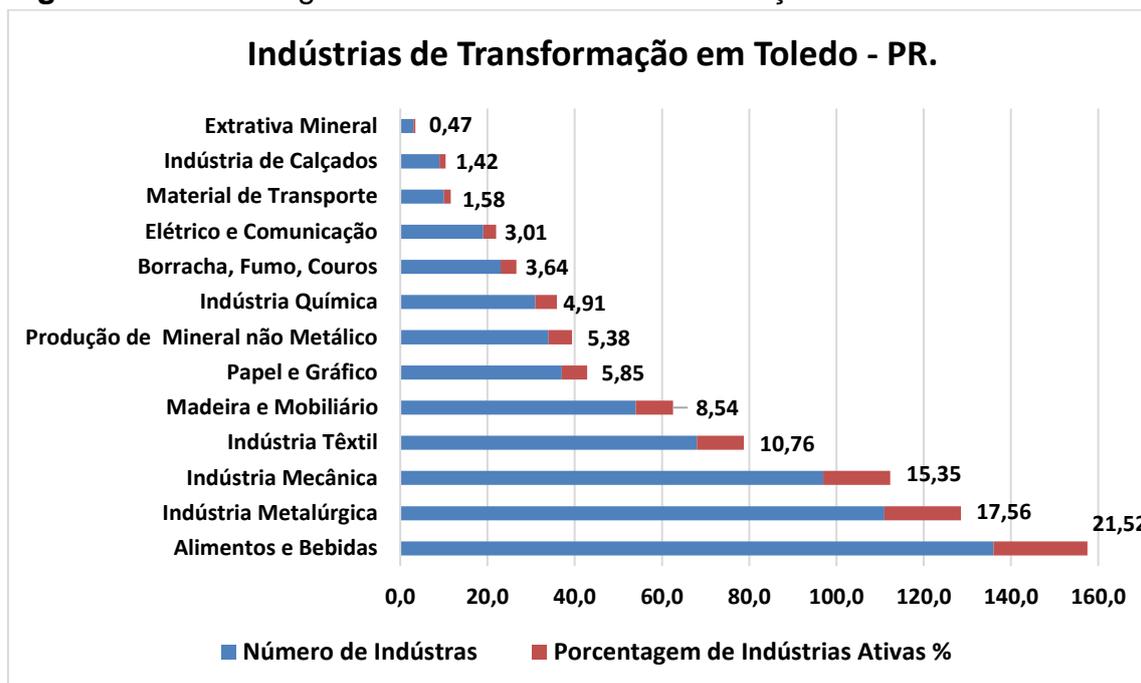
Na Tabela 5, complementado com a Figura 13, apresenta a Classificação das Indústrias de Transformação em Toledo – PR, com base nas no RAIS, (2019) e IBGE, (2019). Nessa tabela, as colunas explicitam-se a as atividades, número de indústrias ativas, a porcentagem, o tipo de matéria prima e o tipo de resíduo gerado em ordem decrescente.

Já na Figura 13, há uma apresentação específica do número de indústrias ativas e porcentagem de atuação da atividade industrial delas. O resultado encontrado demonstrou de forma objetiva para as atividades industriais as suas respectivas classificações de resíduos industriais gerados. Houve também a análise das porcentagens de atuação dos setores no município, que resultou na visualização sistêmica de qual atividade industrial prevalece na região e qual tipo de resíduo é produzido.

Tabela 5. Classificação das Indústrias de Transformação em Toledo – PR (Baseado em RAIS E IBGE 2019).

Atividade	Número de Indústrias ativas	Porcentagem de Indústrias ativas [%]	Matéria-prima	Tipo de Resíduo gerado
Alimentos e Bebidas	136,0	21,52	Água, componentes de processo, vidro e plásticos	Água, resíduos contaminados, vidros e plásticos
Indústria Metalúrgica	111,0	17,56	Material particulado mineral	Sucata e escória
Indústria Mecânica	97,0	15,35	Peças prontas de metalurgia	Sucata, óleos e graxas
Indústria Têxtil	68,0	10,76	Fios de algodão, fios sintéticos, corantes e tintas.	Poeira de algodão
Madeira e Mobiliário	54,0	8,54	MDF e MDP	Serragem, cavaco e madeira
Papel e Gráfico	37,0	5,85	Papel e celulose	Papel
Produção de Mineral não Metálico	34,0	5,38	Minérios sem presença de Ferro.	Pó de minério
Indústria Química	31,0	4,91	Derivados de petróleo e produtos químicos semiacabados.	Óleos e graxas
Borracha, Fumo, Couros	23,0	3,64	Látex natural, derivados de petróleo e couro animal	Borrachas de rebarba, óleos e couro
Elétrico e Comunicação	19,0	3,01	Fios e cabos elétricos	Plásticos e materiais recicláveis
Material de Transporte	10,0	1,58	Plásticos, metais e vidros	Plásticos e materiais recicláveis
Indústria de Calçados	9,0	1,42	Borrachas, fios de algodão, fios sintéticos e couro animal	Couro, borrachas e fios de rebarba
Total =	632,0	100,00		

Fonte: O Autor, 2019.

Figura 13. Porcentagem de Indústrias de Transformação em Toledo - PR.

Fonte: O Autor, 2019

A Tabela 6, complementada pela Figura 14, apresenta a classificação e o número de indústrias de transformação em Toledo – PR, com base na fonte de dados pesquisados no ECONODATA, (2019). Nesta tabela as colunas analisam o ramo de transformação e cada atividade em número de empresas e sua respectiva porcentagem em ordem decrescente de atuação no município.

Tabela 6. Classificação e número de indústrias de Transformação em Toledo – PR (Baseado em ECONODATA 2019).

Atividade	Número de Empresas	Porcentagem [%]
Confecção de Artigos do Vestuário e Acessórios	377	21,38
Fabricação de Produtos Alimentícios	255	14,46
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	246	13,95
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	174	9,87
Fabricação de máquinas e equipamentos	112	6,35
Fabricação de produtos diversos	107	6,07
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	97	5,50
Fabricação de móveis	91	5,16
Fabricação de Produtos de Madeira	81	4,59

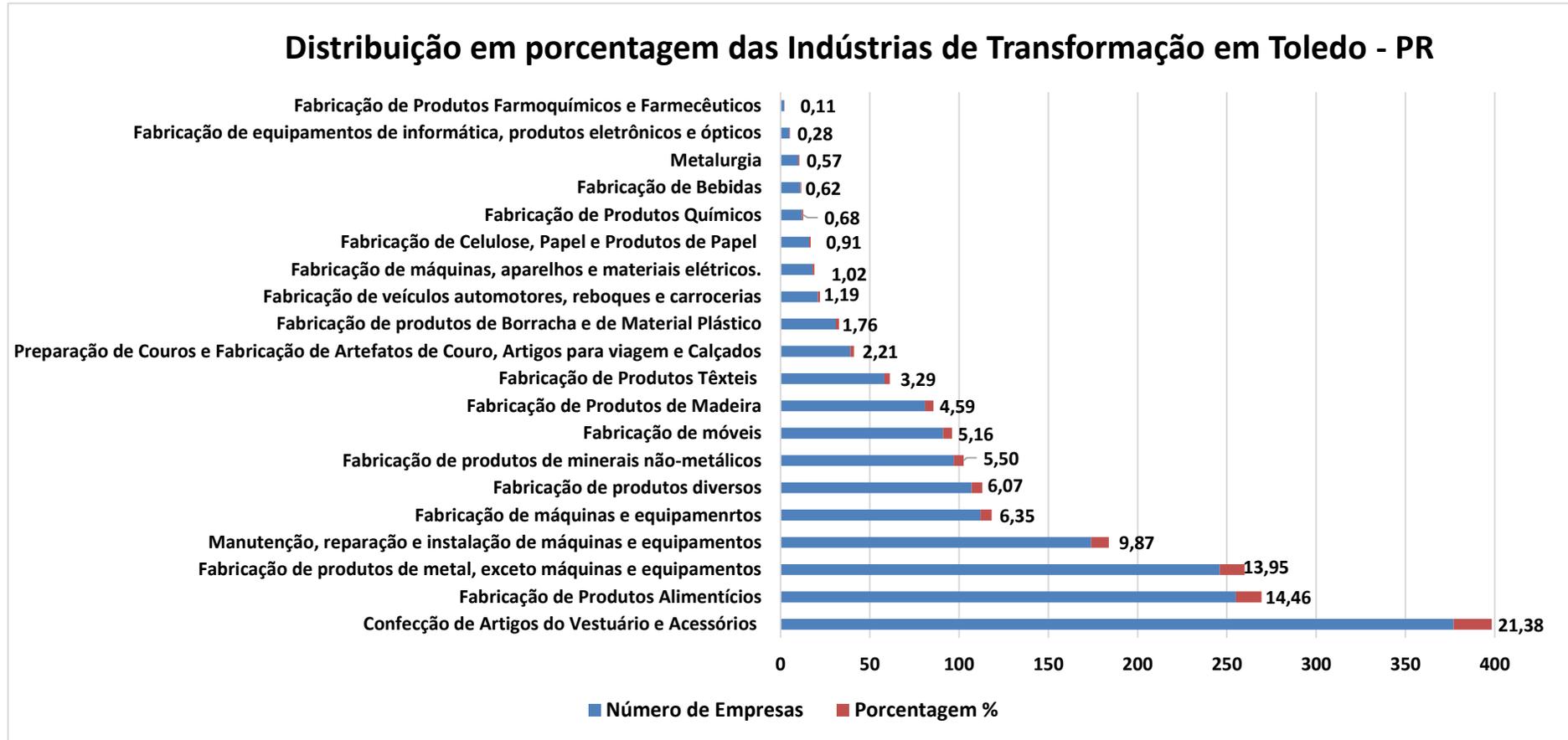
Continuação Tabela 6.

Fabricação de Produtos Têxteis	58	3,29
Preparação de Couros e Fabricação de Artefatos de Couro, Artigos para viagem e Calçados	39	2,21
Fabricação de produtos de Borracha e de Material Plástico	31	1,76
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	21	1,19
Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos.	18	1,02
Fabricação de Celulose, Papel e Produtos de Papel	16	0,91
Fabricação de Produtos Químicos	12	0,68
Fabricação de Bebidas	11	0,62
Metalurgia	10	0,57
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	5	0,28
Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos	2	0,11
TOTAL =	1763	100,00

Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 14 apresenta a distribuição das indústrias de transformação no município de Toledo, com base na fonte do ECONODATA para o ano de 2019, O gráfico em forma de barras está com a classificação em ordem decrescente por atividade industrial, bem como sua representação em porcentagem do total de indústrias.

Figura 14. Distribuição em porcentagem das indústrias de transformação em Toledo - PR (ECONODATA 2019).



Fonte: O Autor, 2019.

Como resultado encontrado nas informações apresentadas na Tabela 6 e na Figura 14, nota-se que a fonte de pesquisa para a informação caracterizou apenas o aspecto econômico da região do município de Toledo – PR, pois o número de empresas cadastradas é superior ao da fonte apresentado na Tabela 5. Isto se justifica pela característica do banco de dados de pesquisa. Conclui-se que o número de empresas cadastradas no município por atividade repercute em seu potencial industrial e nessas atividades por serem de transformação física, química ou biológica de materiais, substâncias ou componentes para a obtenção de novos produtos. Todos os seus processos envolvidos geram resíduos oriundos de suas etapas, os quais, são sólidos, líquidos ou gasosos gerando passivos ambientais.

A Tabela 7 apresenta o número de indústrias de transformação em Toledo – PR, baseado na fonte de pesquisa de dados do SMMA, (2018). Nessa tabela, explicita-se o tipo de atividade, número de indústrias, e o tipo de resíduos gerados pelos processos produtivos.

Tabela 7. Número de Indústrias de Transformação em Toledo - PR (Baseado em SMMA 2018).

Tipo de atividade	Número Indústrias	Resíduos Gerados
Madeira	2	Serragem, cavaco de madeira.
Fábrica máquinas, peças, utensílios e acessórios com trat. térmico e de superfície	3	Sucata, óleo lubrificante e materiais recicláveis
Fabricação de Gelo	1	Materiais recicláveis
Fabricação de aparelhos elétricos e eletrodomésticos	1	Materiais recicláveis
Fabricação de artefatos de material plástico	3	Materiais recicláveis
Fabricação de artefatos diversos de couros e peles	1	Materiais Recicláveis, restos de peles
Fabricação de bebidas	2	Materiais recicláveis, vidros
Fabricação de estruturas de madeira e de móveis	12	Serragem, cavaco de madeira.
Fabricação de domissanitários: inseticidas, germicidas e fungicidas	1	Materiais recicláveis, embalagens de produtos químicos, resíduos contaminados.
Fabricação de estruturas metálicas sem tratamento de superfície	2	Sucata, materiais recicláveis

Continuação Tabela 7.

Fabricação de fertilizantes e agroquímicos	6	Materiais recicláveis, embalagens de agroquímicos, resíduos contaminados.
Fabricação de papel e papelão	2	Materiais recicláveis
Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários	3	Medicamentos vencidos, resíduos de serviços de saúde.
Fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais	16	Materiais recicláveis, restos de ração e rejeitos de alimentos.
Fabricação e acabamento de fios e tecidos	2	Materiais Recicláveis
Indústria e Comércio de Carvão Vegetal	1	Material particulado, escória, finos de minério de ferro.
Industrialização e comércio de produtos alimentícios	8	Restos de alimentos, materiais recicláveis
Preparação, beneficiamento e industrialização de leite e derivados.	5	Restos de alimentos, materiais recicláveis
TOTAL =	71	

Fonte: O Autor, 2019.

O resultado da Tabela 7, apresenta a informação relevante do tipo de resíduo gerado para cada atividade industrial. Porém, observou-se que o número de indústrias é inferior comparando as outras fontes de pesquisa. Percebe-se a discrepância entre as fontes de dados devido as mesmas não se conectarem de forma conjunta em nível administrativo entre as suas altarquias. As fontes de pesquisa para os dados apresentados são de aspectos diferentes, sendo elas de aspectos econômicos, sociais e ambientais, não estabelecendo uma coerência única em suas informações. O gerenciamento da produção de resíduos de qualquer origem requer responsabilidade coletiva e envolvimento de todos os setores da sociedade em relação à sua geração e destino final, analisando a preservação dos recursos ambientais, a economia de insumos e energia e a minimização da poluição ambiental. Verificou-se que a disposição final inadequada de resíduos sejam sólidos, líquidos ou gasosos industriais é um dos mais graves problemas ambientais, principalmente pela possibilidade de geração de passivos ambientais. Conclui-se que, para os números de atividades para as indústrias de transformação no município de Toledo – PR explicitados,

é significativa e importante para a avaliação econômica local, com uma quantidade de setores diversificados com usos de matérias-primas diversificadas. A geração de resíduos dos processos produtivos em diversas formas conhecidas, sólidos, líquido e gasoso criam passivos ambientais oportunizando a criação de modelos de gestão ambiental mais eficazes e coerentes com os órgãos de controle e bases de dados que possam se comunicar coerentemente.

4.1.2 Monitoramento das Fontes Geradoras de poluentes industriais

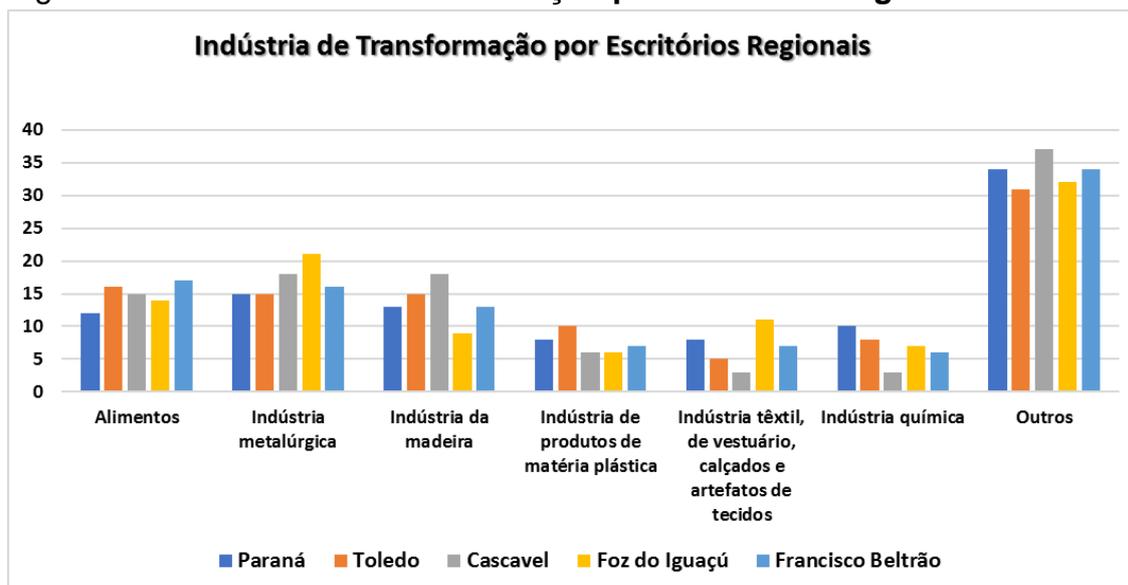
A Tabela 8, complementada pela Figura 15, apresenta o Número de Inventários da Indústria de Transformação por Escritório Regional com base no principal órgão controlador ambiental do estado do Paraná. Nessa tabela, explicam-se as colunas os ramos individuais para as indústrias de transformação na primeira coluna, faz-se a distribuição na segunda coluna para o estado do Paraná, a quantidade de inventários gerados e para as colunas subsequentes os escritórios de Toledo, Cascavel, Foz do Iguaçu e Francisco Beltrão. Na Figura 15, está apresentada em forma de gráfico de colunas, a complementação das informações com as quantidades de ramos individuais por escritório regional.

Tabela 8. Número de Inventários da Indústria de Transformação por Escritório Regional (Baseado em IAP 2018).

Ramos individuais	Número de inventários por escritório regional				
	Curitiba	Toledo	Cascavel	Foz do Iguaçu	Francisco Beltrão
Alimentos	12	16	15	14	17
Indústria Metalúrgica	15	15	18	21	16
Indústria de Madeira	13	15	18	9	13
Indústria de produtos de matéria plástica	8	10	6	6	7
Indústria Têxtil	8	5	3	11	7
Indústria Química	10	8	3	7	6
Outros	34	31	37	32	34
Total =	100	100	100	100	100

Fonte: O Autor, 2019.

Figura 15. **Indústrias de Transformação por Escritório Regional.**



Fonte: O Autor, 2019.

A propósito, como resultado estabeleceu-se uma comparação entre os escritórios regionais próximos ao município de Toledo. Nota-se que Toledo está entre os três escritórios que realizam mais levantamentos para a quantidade de número de inventários anuais com o descritivo dos ramos de atividade de transformação. Este resultado é de extrema importância, justo porque mostra que o escritório regional tem controle dos números de indústrias cadastradas com licenciamento ambiental, que têm a responsabilidade de informar seu ramo de atividade, a matéria-prima que utilizam em seus processos produtivos e quais são os resíduos gerados. Essas informações servem de modelo para análise das quantidades de atividades, que mais se destacam nos municípios e as quantidades de resíduos industriais gerados. Esses dados ajudam a entender o comportamento futuro das regiões e a oportunizar propostas de melhorias em gestão ambiental.

Para o município de Toledo, foi gerado o panorama de 2018, que consta na Tabela 9, complementado pela Figura 16, o número de inventários cadastrados por tipo de atividade industrial no município de Toledo – PR. Nessa tabela as colunas, expõem-se a as atividades, número de indústrias, a porcentagem de inventários, as quantidades de resíduos gerados por ano e a porcentagem de resíduos gerados por ano para cada atividade no global.

Tabela 9. Inventários cadastrados por tipo de atividade industrial no município de Toledo - PR. (Baseado no IAP 2018).

Atividade	Número	% de inventários	ton/ano	% ton/ano
Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários	1	9,1	1.936.568,0	66,184
Fabricação de artefatos de material plástico	1	9	972.856,0	33,248
Fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais	2	18,2	12.032,9	0,411
Fabricação de estruturas de madeira e de móveis	1	9,1	3.000,0	0,103
Beneficiamento de grãos armazenados, torrefação, depósito, moinho de trigo e sementes	2	18,2	746,0	0,026
Laminadora de madeira	1	9,1	648,9	0,022
Matadouros, abatedouros, frigoríficos, charqueadas e derivados de origem animal	1	9,1	117,4	0,004
Laboratórios de análises clínicas, biológicas, radiológicas e físico-químicas	1	9,1	59,4	0,002
Serraria e desdobramento de madeira	1	9,1	3,6	0,004
Total =	11	100	2.926.032,1580	100,0000

Fonte: O Autor, 2019.

Na Figura 16, há uma apresentação específica do número de indústrias e porcentagem de resíduos gerados por ano para cada atividade no global na forma de gráfico de barras em ordem crescente de informação conforme os dados apresentados na Tabela 9.

Figura 16. Porcentagem de Quantidades de Resíduos Industriais em Toledo – PR. (Baseado no IAP 2018).



Fonte: O Autor, 2019.

Segundo a Resolução 313/2002 do CONAMA, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Industriais, estabeleceu que os diversos setores industriais apresentassem informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte e destinação dos resíduos. Para tanto, foi elaborado de acordo com informações prestadas pelo setor industrial através do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais. O órgão Instituto Ambiental do Paraná – IAP é responsável pelo controle de informações, monitoramento de indicadores

ambientais e fiscalizador das leis, que regem uma série de indicadores de controle, cujos são mensuráveis através de licenciamentos, concessões, execuções, elaboração e fiscalização ambiental gerando relatórios de “Situação do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais no Estado do Paraná”, dividido por Escritório Regional. No caso do estudo, os dados coletados foram com base no Escritório Regional de Toledo – ERTOL e no “Relatório 07 do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná”,

Com base no que foi apresentado na Tabela 09, corroborando com a Figura 16, há uma grande quantidade de resíduos gerados por atividade industrial com base nos processos produtivos com quase três bilhões de toneladas por ano apenas com as informações da base de dados que as gerou. Conclui-se que se forem registradas todas as indústrias de transformação no município de Toledo – PR, os números se apresentarão com valores significativamente maiores, pois analisando as bases de dados existem mais de 1763 empresas cadastradas e apenas 71 registradas no órgão principal de controle ambiental; ou seja, existe uma lacuna muito grande para o levantamento coerente das quantidades geradas de resíduos industriais para o município. Essas quantidades geram passivos ambientais com grandes problemas, pois a destinação dos mesmos depende exclusivamente das indústrias, caso elas não tenham um programa de reutilização e tratamento adequado de resíduos.

4.1.3 Estudo e Avaliação dos Impactos gerados

Na Tabela 10 estão apresentados os resíduos industriais com destinação final para o município de Toledo – PR, segundo o principal órgão de fiscalização e controle ambiental do estado do Paraná. Nessa tabela, há na primeira coluna a classificação de destinação final de resíduos que recebem tratamento, a sua parcela de reutilização, a sua parcela de reciclagem ou que podem ser recuperados, a parcela de disposição final adequada e inadequada e a parcela que pode passar por processos de coprocessamento. Na segunda coluna, está exposta a análise quantitativa de resíduos gerados em processos industriais por ano no município. Na última coluna, há a respectiva porcentagem dos critérios de destinação final desses resíduos.

Tabela 10. Resíduos Industriais com destinação final em Toledo – PR. (Baseado no IAP 2018)

Destinação Final	ton/ano	%
Tratamento	5.761,7	0,2
Reutilização, reciclagem ou recuperação	1.764.863	71,5
Disposição final adequada	69.857	28,3
Disposição final inadequada	0	0
Coprocessamento	0	0
Total =	1.840.481,7	100

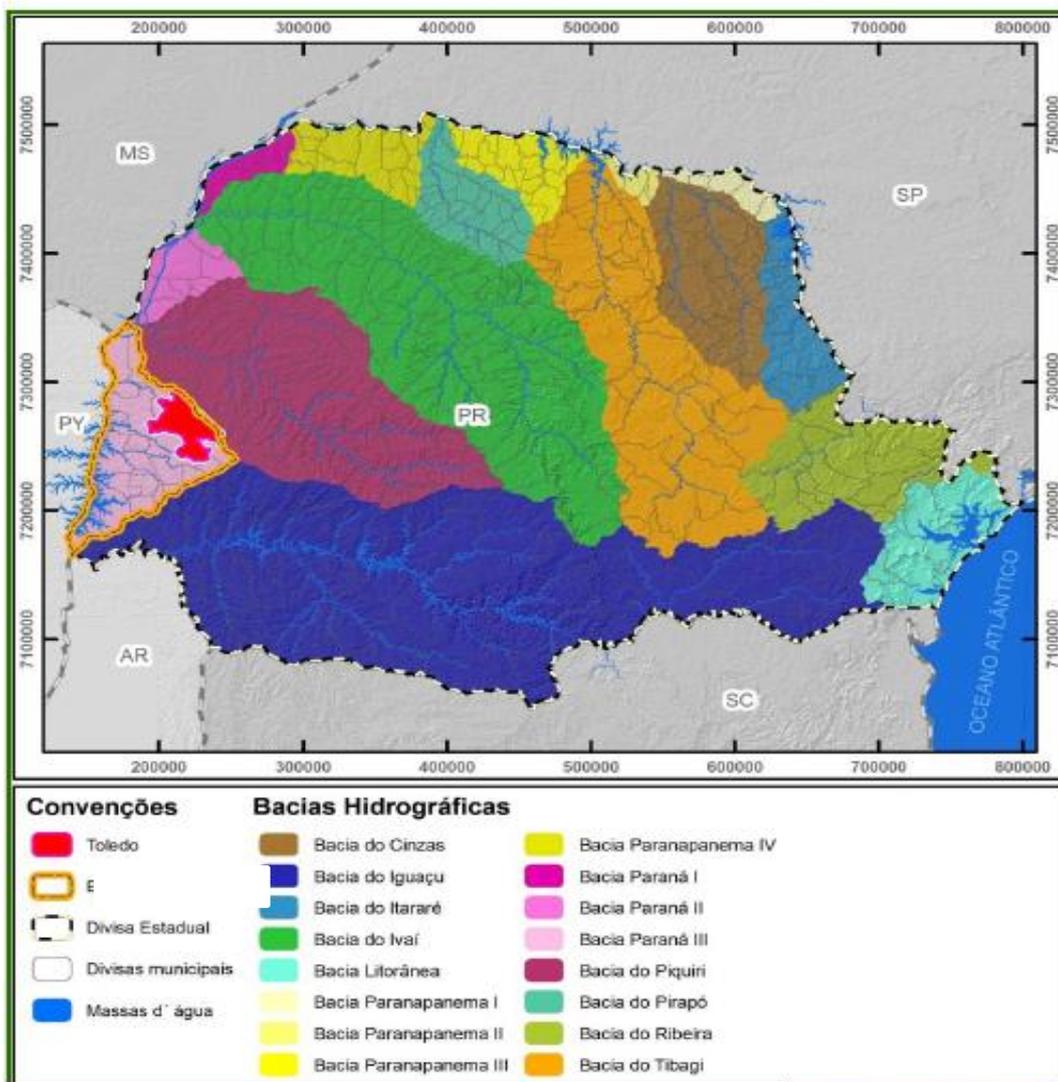
Fonte: O Autor, 2019.

Com o resultado ilustrado na Tabela 9, a geração de 2.926.032,1580 ton. ano⁻¹ e destinação para correto tratamento de 1.840.481,7 ton.ano⁻¹. Isto representa apenas 62,9%, um valor baixo comparando ao que é gerado de resíduos industriais. Este panorama oportuniza a aplicação de uma melhor gestão de tratamento de resíduos com uma maior cobrança pelo órgão responsável e pelas empresas geradoras. Portanto, uma alternativa seria a aplicação da filosofia do *Lean Manufacturing* aliada à ferramenta do Seis Sigma em um novo modelo de gestão ambiental preconizando processos mais limpos e mais eficientes diminuindo os impactos ambientais.

Nesse sentido, com base nas fontes de pesquisas explicitadas, para o entendimento da geração de resíduos industriais no município de Toledo, observam-se discrepâncias entre os seus valores totais de empresa/indústrias cadastradas. Nessa questão, ficou comprovado que não se comunicam adequadamente, comparando o número de empresas cadastradas no município pelo RAIS/IBGE com mais de 632 e pelo IAP/SMMA com apenas 71 empresas com licenciamento ambiental, que equivale a apenas 11,23%. A quantidade de resíduos não registrados pelo órgão ambiental gera uma desvantagem significativa e uma oportunidade de estudo mais aprofundado para uma melhor gestão ambiental e controle das empresas para a solicitação de licenciamento ambiental. Outro fator de extrema preocupação é a quantidade de resíduos gerados que, em muitas vezes, é destinado para locais sem suporte para o seu reprocessamento e tratamento adequado.

Para um melhor entendimento da localização geográfica do município de Toledo e suas características em relação às bacias hidrográficas, a Figura 17 apresenta o estado do Paraná e suas bacias hidrográficas. Esta figura apresenta em forma de mapa temático para a localização no estado do Paraná, as principais bacias hidrográficas com divisão de cores para as mesorregiões.

Figura 17. Mesorregião Oeste e Bacias Hidrográficas.

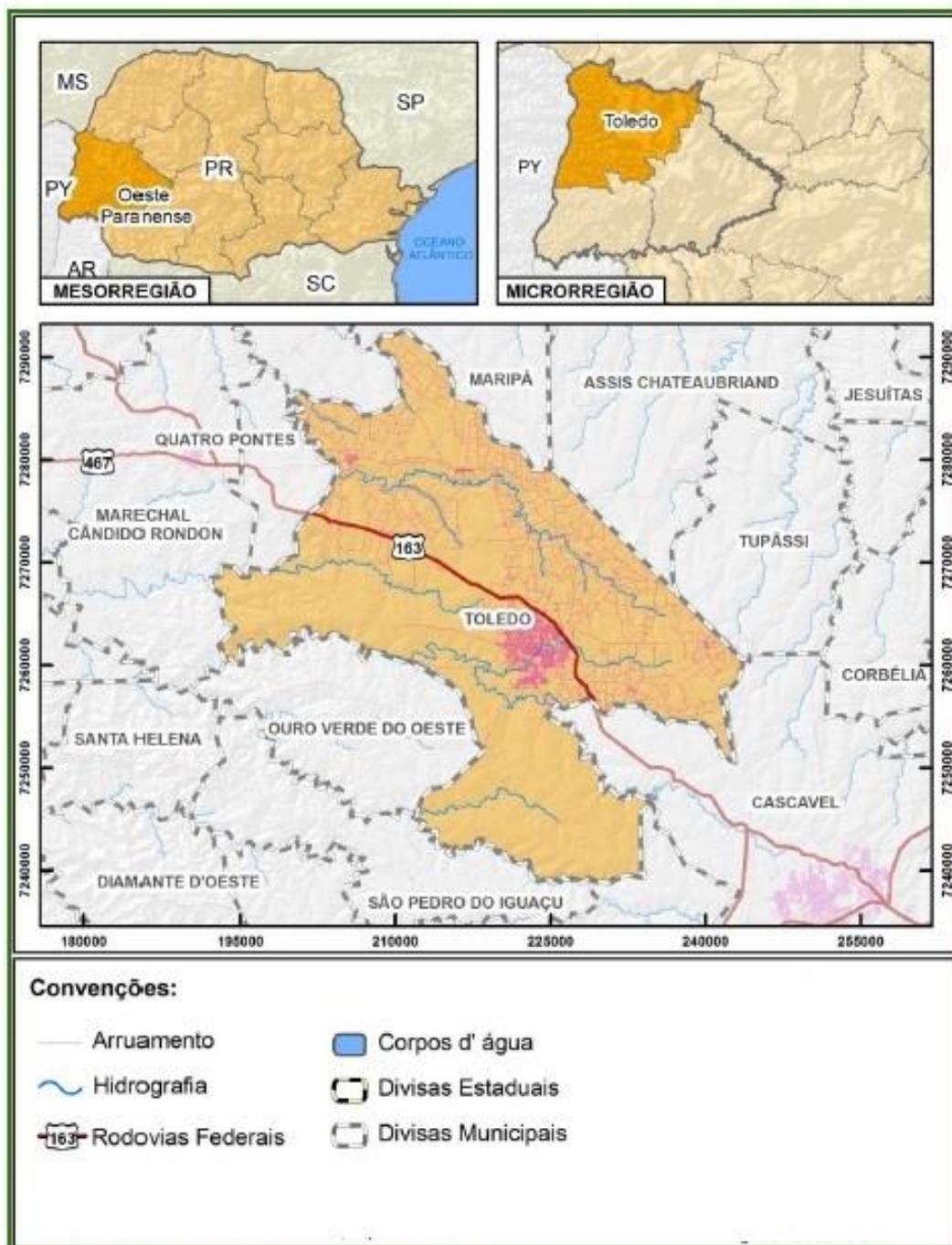


Fonte: SMMA Município de Toledo - PR, 2019.

O resultado encontrado no município de Toledo, na Bacia Hidrográfica do Paraná 3, a qual está inserida na Região Hidrográfica do Paraná, revela que na ecorregião aquática, denominada Alto Paraná.

A Figura 18 apresenta a localização geográfica do município de Toledo – PR, na forma de estratificação do mapa temático com a localização de sua microrregião e afluentes.

Figura 18. Localização Geográfica do município de Toledo – PR no Estado.

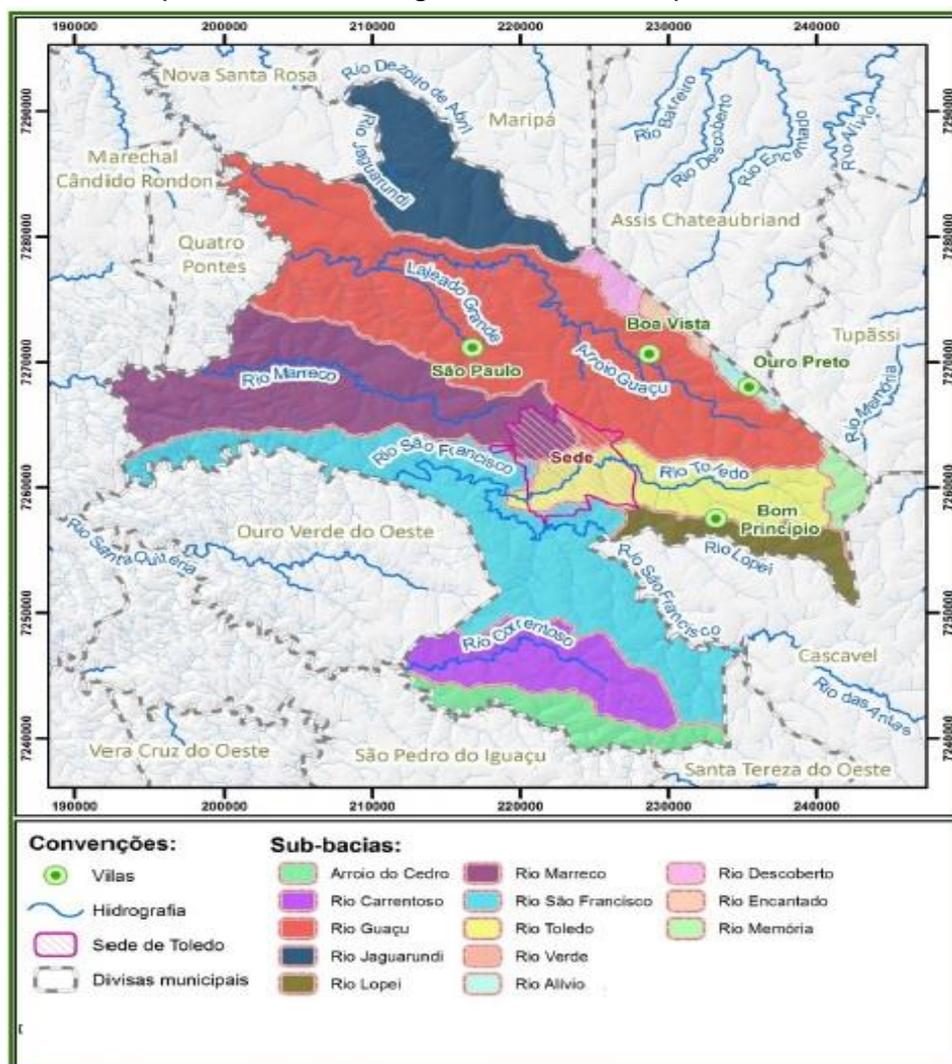


Fonte: SMMA – Município de Toledo, 2019.

Consta a visualização da rede hidrográfica no município de Toledo – PR em sua microrregião e afluentes. Este fato é importante para o entendimento da distribuição hidrográfica no entorno da divisão municipal, bem como as dependências de corpos d’água em regiões próximas.

A Figura 19, apresenta as principais Bacias hidrográficas presentes no município de Toledo – PR. Está no formato de mapa temático, dividindo as fronteiras pelos principais rios, que influenciam o município em sua microrregião.

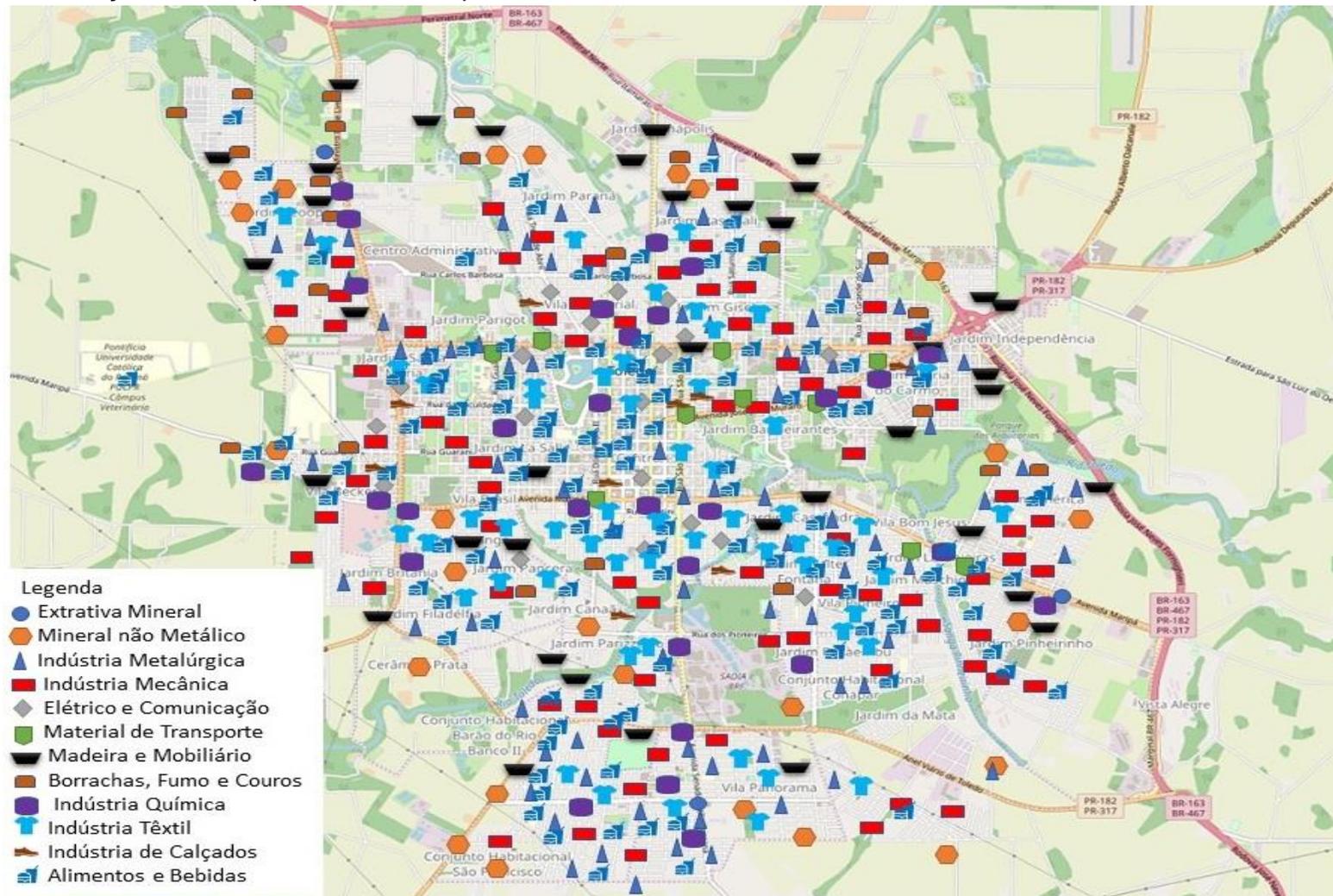
Figura 19. Principais Bacias Hidrográficas no Município de Toledo - Pr.



Fonte: SMMA Município de Toledo, 2019.

A Figura 20 apresenta a distribuição das empresas no município de Toledo – PR. Está apresentada na forma de mapa temático com a fronteira municipal.

Figura 20. Distribuição das Empresas no Município de Toledo - PR.

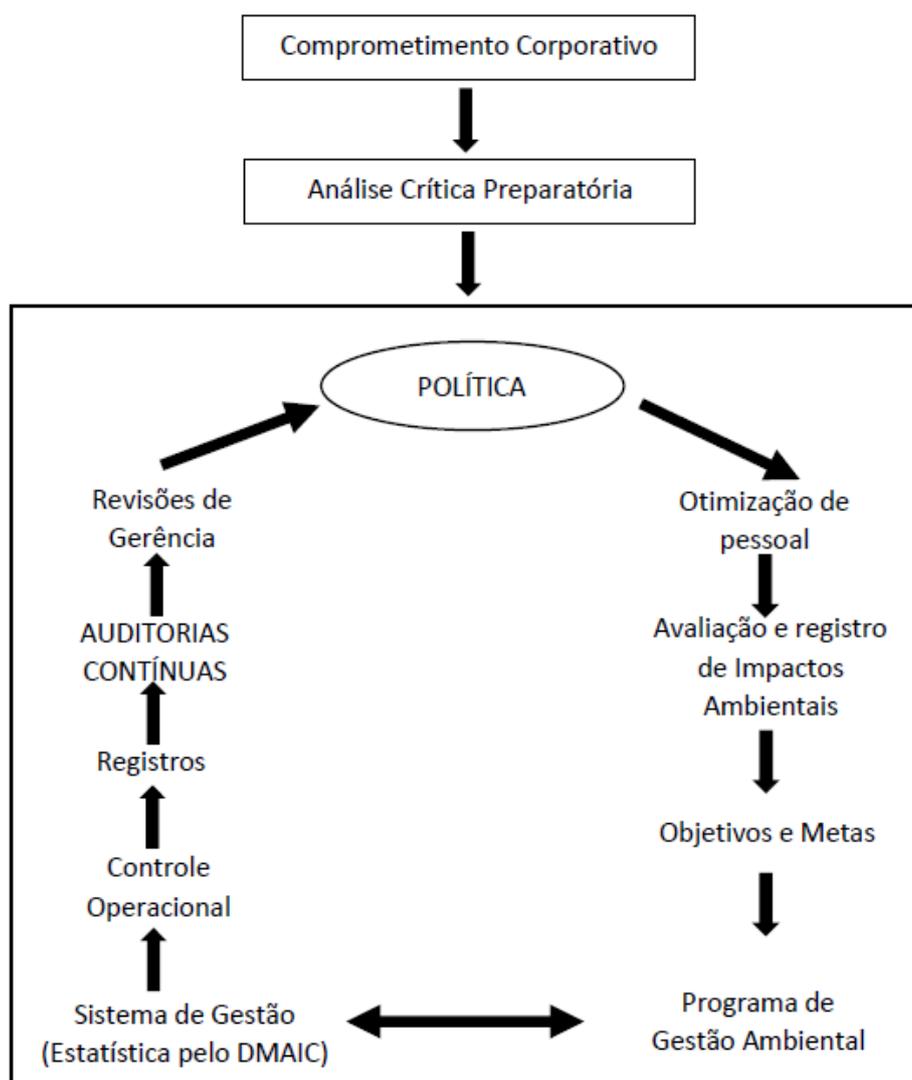


Fonte: O Autor, 2019.

Observa-se como resultado para a Figura 20, o apontamento das 632 empresas cadastradas nas bases de dados e classificadas de acordo com suas respectivas atividades para as indústrias de transformação.

Com base no que foi apresentado nas tabelas e figuras e nas diferentes fontes, a análise dos resultados para as atividades industriais do município de Toledo, apresentam variedade dos ramos de atuação e a geração de seus resíduos, bem como a disposição dos mesmos. Nota-se também que as fontes pesquisadas para a geração dos resultados são discrepantes, pois se baseiam em órgãos de altarquias diferentes, mesmo dependentes do controle do Estado do Paraná. É evidente que o principal órgão responsável pelo controle ambiental não consegue abranger o controle de todos os ramos de atividades industriais, pois muitas empresas não apresentam licenciamento ambiental gerando quantidades de resíduos significativas e com disposição inadequada em muitos casos no aterro municipal e ou em outros lugares não adequados. O pesquisador encontrou dificuldades no levantamento de dados e discrepâncias, pois os setores de economia, política e ambiental necessitam de uma ligação mais coerente e controlada de seus dados. Outro ponto percebido é que o principal órgão de controle ambiental do estado, não forneceu as informações estratificadas das quantidades de resíduos por classificação em sólidos, líquidos ou gasosos nas geração das indústrias. A partir dos resultados encontrados, estabeleceu-se uma proposta para um novo modelo de gestão corporativa com a utilização da metodologia DMAIC para o tratamento de informações com o intuito de entender os problemas oriundos da desconexão das altarquias responsáveis pelos dados e informações gerados das indústrias no município de Toledo – PR. E por meio de tecnologias e métodos de controle estatístico ambiental de resíduos industriais apresentado na Figura 21.

Figura 21. Elementos de proposta de Sistema de Gestão.



Fonte: O Autor, 2019.

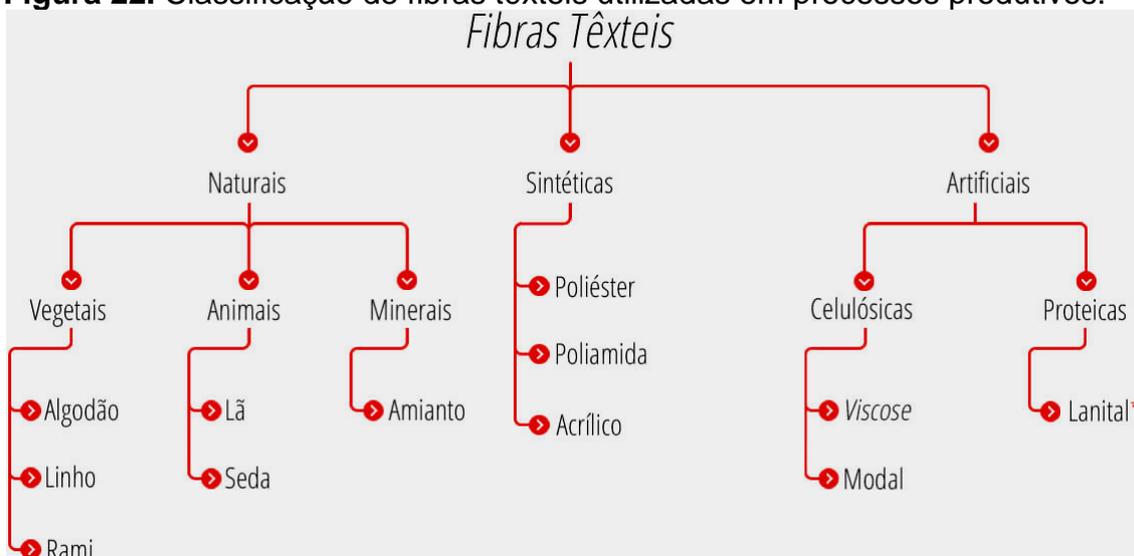
O modelo proposto se baseia na filosofia do *Lean Manufacturing*, preconizando a gestão ágil e colaborativa de informações de diferentes fontes e altarquias governamentais e particulares. A intenção é de gerir as mesmas através de projetos com o auxílio de políticas ambientais e controle sistemático de dados. Para tanto, é necessária a geração de relatórios, auditorias, avaliação de impactos e melhorias na fiscalização e controle das indústrias de transformação no município de Toledo - PR na geração de seus resíduos industriais. Para quem, assim, sirva de modelo para replicabilidade nas regiões próximas ao município.

4.2. RESULTADOS DA PARTE 2 – 1) DEFINIR (*DEFINE*): Identificação, caracterização, monitoramento das fontes geradoras de resíduos gasosos com particulados em suspensão em estudo e desenvolvimento dos indicadores para a avaliação de impactos

4.2.1. Visualização do processo de depuração no ambiente industrial

Na Figura 22 está apresentada a classificação de fibras têxteis em processos produtivos, para tanto, foi explicitada na forma de organograma e classificação das fibras em naturais, sintéticas e artificiais.

Figura 22. Classificação de fibras têxteis utilizadas em processos produtivos.



Fonte: FLORISA Ind. 2019.

Segundo Santos (2010), as fibras têxteis são matéria-prima fibrosa para a maioria dos tecidos produzidos em processo com essas características. Portanto, todo elemento que tem origem química ou natural, com suas partes constituintes de macromoléculas lineares, apresenta alta proporção entre sua dimensão de comprimento e diâmetro e cujas características de flexibilidade, suavidade e conforto ao uso, tornam tal elemento apto em aplicações de fabricação têxtil.

As fibras Têxteis podem ser divididas em três grupos para a sua classificação. As fibras naturais são todas as que se apresentam prontas por

característica natural e necessitam de processos físicos para se transformarem em fios. A sua composição é orgânica formada de macromoléculas baseadas em celulose e proteínas. As fibras sintéticas são produzidas pela ação humana em processos específicos usando matérias-primas a base de petróleo, as mais conhecidas são o poliéster, a poliamida, o acrílico, a viscose e o acetato de celulose (COGO, 2011).

Fluxograma de processo têxtil na empresa em estudo

O processo se baseia na cadeia produtiva do beneficiamento da matéria-prima de algodão, ocorrendo os processos de fiação com diversificação de produtos de fios, que servirão de base para outras cadeias produtivas que o utilizam.

O fluxo de produção é contínuo, uma vez que a produção ocorre isoladamente em cada unidade fabril utilizada no processo. Dessa forma, o processo produtivo é determinado a partir do comportamento de mercado, ou seja, a ordem de produção (PCP⁸) é encaminhada ao setor responsável, que tem a função de produção dos itens e depois empurra para a próxima etapa do processo produtivo, que significa produzir e controlar a produção de acordo com o consumo dos clientes. Em outras palavras, significa produzir o item necessário, na quantidade necessária, no momento necessário. Dessa maneira, é possível reduzir ao máximo o estoque produzindo apenas que o cliente comprou. Nesse modelo, o controle do que deve ser produzido, baseia-se em uma estimativa de tempo dada pela previsão de demanda e na quantidade de itens em estoques.

Na *Empresa X*, o processo produtivo é contínuo, porém vale ressaltar que alguns fatores influenciam a demanda de produção, sendo os mais importantes a matéria-prima, que sofre variação devido a estar interligada ao campo, ou seja, a qualidade do algodão colhido interfere no processo produtivo, podendo ocorrer perdas e gargalos. Outro fator importante está ligado à logística de recebimento de matéria-prima, pois a empresa necessita de terceiros para a entrega, interferindo na demanda solicitada de produção.

⁸ Planejamento e Controle de Produção – PCP.

Os resíduos gerados na empresa

Ao chegar ao processo produtivo, os fardos de algodão e poliéster são abertos nas Salas de Abertura, em que a matéria-prima é desenfundada e introduzida em batedores para realização da limpeza, mistura e uniformização do material. O produto de saída deste setor é a manta ou flocos de fibras de algodão.

A abertura da manta consiste na redução das camadas de algodão retirado dos fardos, a flocos, que permite a liberação gradual de parte das impurezas, que por sua vez, são coletadas por tubulações e acumuladas em filtros manga, equipamento utilizado para a depuração dos particulados suspensos no ar na unidade fabril global. Este material coletado pelos filtros consiste no resíduo denominado Pó de Filtro, que é a base de um dos indicadores da pesquisa.

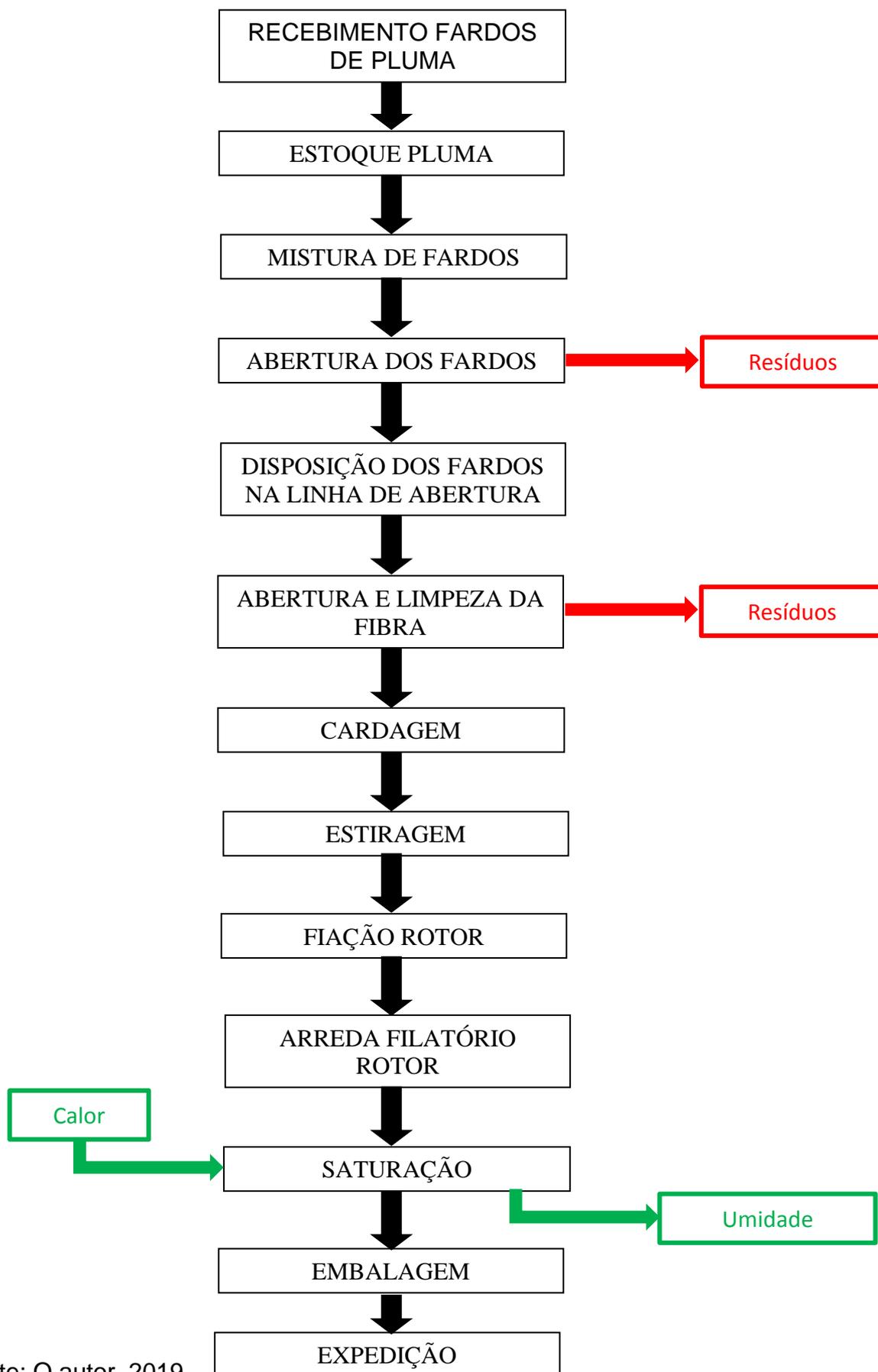
A carda tem como finalidade a abertura, limpeza, cardação ou alinhamento (separação das fibras quase que individualmente, paralelizando-as) e estiramento das fibras (afinar o produto). O produto de saída é a fita da carda. Quando são feitas a separação das fibras, são liberadas ainda grandes quantidades de impurezas, redirecionadas aos filtros, também gerando uma grande quantidade de resíduos sólidos. Neste mesmo processo de separação, são eliminadas as fibras que, por suas características físicas, podem prejudicar a qualidade do fio a ser produzido. Sua função principal é de uniformizar em termos de peso/unidade de comprimento, logo após se estira as fibras e promove-se a mistura do material, que se apresenta com uma regularização das massas por unidade de comprimento e a melhora da mistura de fibras. Neste processo, também são gerados resíduos sólidos.

A Maçaroqueira tem a finalidade de estirar, ou seja, afinar o produto, paralelizando as fibras, torcer através de uma aplicação de pequena torção para que o mesmo possa ser enrolado e desenrolado e mudar a embalagem. Seu produto de saída é conhecido como pavio. As porções de pavio são geradas como resíduos deste processo, especialmente nas ocasiões de troca de maçarocas. Estes resíduos, por sua vez, são destinados aos túneis de sucção e, pôr fim, ao sistema de depuração e sacos de coleta de resíduos.

Após esses processos, o produto finalizado na maçarqueira é destinado ao Filatório que tem a função de estirar, paralelizar e torcer os fios, produzindo um fio denominado de fio Singelo. Por última etapa, o fio passa pelas Conicaleiras que geram as bobinas de fios. Nesses processos, está o foco do trabalho, pois nos mesmos se faz necessário a operação de depuração no ar e nas máquinas, ou seja, eliminação de defeitos nos fios, tais como pontos finos ou grossos, nós e outras características que não agregam valor, além de que, periodicamente volumes de material têxtil são varridos e recolhidos das áreas de produção, em volta das máquinas, gerando outro tipo de resíduo, denominado de Varredura. Todas essas partículas ficam em suspensão no ambiente industrial e caem por aplicação de pressão negativa em túneis de sucção para o sistema de depuração.

Na Figura 23, está apresentado o fluxograma do processo produtivo de fiação de algodão para o estudo de caso. Esta representação está na forma de fluxograma com todas as etapas do processo produtivo para um melhor entendimento.

Figura 23. Fluxograma do processo produtivo do estudo de caso.



Fonte: O autor, 2019

Conforme o fluxograma apresentado na Figura 23, primeiramente a indústria recebe a matéria-prima de seus fornecedores em forma de fardos de pluma de algodão no qual serão colocados em estoque. Após essa etapa, os fardos são misturados entre si para evitar problemas posteriores de comprimento de fibras orgânicas. Os fardos chegam à fábrica são descarregados com duas empilhadeiras. É dada entrada desses fardos no sistema de mistura Optcotton e recebem uma etiqueta de identificação.

O processo de produção começa com a abertura e a limpeza do algodão, que é alinhado manualmente aos abridores, depois os rolos de manta, produzidos irão sofrer um processo de Cardagem, que consiste em retirar as fibras mais curtas e parte dos resíduos. Após esse processo, ocorre a Estiragem das fibras, através dos passadores que têm a função de uniformizar. Esse processo se repete por duas vezes. As mechas provenientes dos passadores vão para um equipamento chamado Maçaroqueira, que permite transformar em pávio as mechas através da Estiragem. Em seguida, o pávio de algodão vai para os Filatórios, que é um sistema que produz fios de todas as espessuras, passa-se por uma Saturação, que consiste em adequar a umidade ao produto acabado, e por fim de processo é embalado em seus diversos produtos. Ao final, o produto acabado é colocado em expedição e analisando o mercado externo. Durante todas essas etapas do processo, algumas variáveis são de importante análise, desde o início do recebimento da matéria-prima até a etapa final de processo, que será destinada à expedição.

Para o recebimento da Pluma, os fardos chegam à fábrica e são descarregados com duas empilhadeiras. Ocorre a entrada desses fardos no sistema de mistura Optcotton e recebem uma etiqueta de identificação, conforme já citado acima no texto. A principal variável de controle é o produtor que forneceu a matéria-prima, após gera-se o estoque de pluma, onde os fardos ficam alocados em classes, que são definidas por quantidade ou qualidade. Nessa etapa, a variável importante é a classificação dessa pluma que interfere no processo produtivo global.

Para a mistura dos fardos, o sistema Optcotton, calcula a mistura de algodão, combinando as características de fibra mantendo mais constante possível, então solicita ao operador a quantidade de fardos de cada classe. Após a mistura pronta, é alocada em um espaço previamente definido e identificado,

é gerado mapa dos fardos, ou a posição de cada fardo na linha de abertura. Assim, são impressas as etiquetas de identificação dos fardos. O operador responsável pela mistura de fardos define quantos fardos de algodão irão compor a mistura de fardos, baseado na quantidade e qualidade, simultaneamente define quantidade e tipo de resíduo que irão compor a mistura junto com os fardos de pluma. As principais variáveis e serem controladas são: o comprimento da fibra, a resistência da fibra, a Micronaire que mede a espessura da fibra de algodão, sua uniformidade, a porcentagem de fibras curtas, a reflectância do algodão, o grau de amarelamento do algodão, o grau de folha e a quantidade de resíduo presente na matéria-prima.

Para abertura dos fardos, a mistura alocada no ambiente na indústria e os fardos recebem a etiqueta que ordenam suas posições na linha de abertura. Os operadores de fardos removem as capas e cortam os arames para que os fardos sejam encostados, este procedimento tem como principal variável de controle a colocação da etiqueta no fardo correto.

Os fardos na linha de abertura possuem um mapeamento, discriminando a posição dos fardos de algodão, e dos resíduos que irão compor a mistura de fardos. Ao encostar a mistura de fardos o operador, deve seguir metodicamente o mapa de orientação. Quando ele encosta um fardo de resíduo, deve anotar o peso do fardo de resíduo no mapa de abertura.

A abertura e limpeza das fibras passam pelos Blendomat-SPMF-MAXI FLO, que se tratam de uma sequência de máquinas que irão abrir a pluma em flocos menores para limpar a fibra de algodão, removendo as sujidades como: pó, terra, casca, folha e pedaços do caule do pé de algodão, que são destinados aos misturadores, máquinas com várias caixas têm a função de homogeneizar a mistura.

Na etapa da Cardagem, ocorre o processo onde as fibras sofrerão novamente processo de limpeza, orientação ou paralelização e, neste processo, ocorrerá a remoção de fibras mortas, as variáveis de controle são; o peso da fita e CV⁹ de massa do fio, remoção de NEPS¹⁰ de casca e quebra de fibras.

A Estiragem basicamente tem a função de melhorar a orientação da fibra paralelização das mesmas e eliminar variações de massa que possa provocar

⁹ CV - Coeficiente de Variação de um dado em estudo.

¹⁰ NEPS – Pequenas aglomerações de fibras emaranhadas, em forma de botão.

defeito no fio (fio grosso/fino); nessa etapa, ocorre a fiação do rotor, que tem a função de Filatório e estira a fita do passador, aplica torção na mecha estirada e conclui a formação do fio, enrolando o fio pronto em um cilindro. Nessa etapa, as variáveis de controle são: a eficiência da máquina, as rupturas/1000 rotor/hora, o rpm do rotor, o rpm da Cardinha¹¹, a torção do fio, a CV massa do fio, os pontos finos/grossos no fio, os NEPS no fio, a pilosidade do fio e a tenacidade e alongamento do fio.

No processo do Filatório, o beneficiamento do algodão em um novo produto, em linguagem utilizada no processo produtivo têm-se a “ARREADA DO FILATÓRIO”, que se trata quando o cone está cheio e a máquina troca essa bobina cheia por um cone vazio para que a mesma possa continuar produzindo, a bobina cheia é alocada em uma esteira na parte superior da máquina e a cada período os embaladores recolhem essas bobinas e as colocam em paletes. Após essa etapa, ocorre a saturação, uma sala onde os paletes permanecem por 24 horas para que a fibra possa recuperar o REGAIN (umidade residual da fibra). Por último, a etapa da embalagem, as bobinas são embaladas em uma embalagem plástica e colocadas em caixas sendo doze bobinas por caixa, separadas por um separador de papelão e estão prontas para a expedição, as caixas são fechadas e pesadas, recebem uma numeração correspondente ao lote que está sendo produzido. A carregar as caixas vendidas, são carregadas as caixas com numeração mais velha, seguindo modelo PEPS na expedição.

Durante o processo, quase não há desperdício de matéria prima, o algodão que cai no chão é coletado e devolvido ao começo do processo onde é feita sua limpeza novamente. Até o que é descartado no processo, é aproveitado e comercializado posteriormente para outra empresa que reutiliza esse material para coprocessamento e destinação como matéria-prima de outros processos.

O processo produtivo apresenta na sua diversificação de produtos na linha de produção as seguintes linhas:

- a. Fio Flamê Ne 30 Penteado;
- b. Fios com Fibra de Algodão Penteado;
 - Ne 24/1 Malharia Penteado
 - Ne 26/1 Malharia Penteado

¹¹ Cardinha – Rolamento usado no processo produtivo de fiação de algodão.

- Ne 30/1 Malharia Penteado
- Ne 40/1 Malharia Penteado

c. Fios com Fibra de Algodão Open End;

- Ne 24/1 Malharia Open End
- Ne 30/1 Malharia

Toda a descrição apresentada serviu de análise do processo produtivo global da empresa em estudo. Ressalva-se que o escopo desse trabalho não está intimamente relacionado aos produtos que a mesma coloca no mercado externo, mas como a matéria-prima em processo interfere nos particulados suspensos no ar que são captados pelo processo de depuração em estudo.

O processo de depuração instalado

O sistema de depuração instalado é contínuo e composto de discos rotativos, que constituem um sistema em conjunto de discos verticais, cujos giram em um eixo de rotação horizontal. O filtro instalado no ambiente fabril combina aspectos do filtro de tambor rotativo a vácuo e do filtro de mantas. Cada disco é oco e coberto com um tecido e é em parte submerso na alimentação (ar insuflado do ambiente para os coletores distribuídos na indústria). A torta é gerada pelo acúmulo de particulado nesse tecido, caindo por gravidade no interior do sistema de depuração e depois em tubulações que são orientadas para sacos de pesagem que retêm esse material.

Na Figura 24, está apresentado o modelo de depurador instalado no ambiente fabril. Trata-se de um conjunto de filtros rotativos acoplados ao equipamento de filtração.

Figura 24. Modelo de Depurador Instalado em ambiente industrial.



Fonte: O Autor, 2019.

Estes filtros têm em seu funcionamento a rotação contínua controlada por sistema informatizado e apresenta na indústria cinco centrais de ar e cada uma com um filtro rotativo.

Princípio de funcionamento do sistema de técnico de depuração

O ar insuflado no ambiente interno das salas passa por uma lavagem e filtração através do processo adiabático, que ocorre durante o contato do ar com a água nas placas eliminadoras de gota. Essas placas ficam logo após os bicos instalados acima das piscinas, desta forma, proporcionam o resfriamento e, conseqüentemente, a umidificação da massa de ar que passa através dela por evaporação. O ar após este processo é insuflado através de dutos e grelhas, previsto para produzir um filme laminar de limpo de forma a criar uma varredura perfeita no ambiente. Esta película caminhando no sentido transversal ou longitudinal da área, irá no seu trajeto não só absorver as impurezas existentes no ambiente, mas também proporcionar uma diminuição da temperatura e uma umidificação do ambiente. Os túneis de retorno servem para retirar o ar do ambiente e, com isso, fechar o ciclo de troca de ar no mesmo.

Insuflamento

A Figura 25 apresenta a pás de insuflamento de ar ambiente, que é responsável pela renovação contínua, ou seja, ele faz com que o ar chegue ao ambiente industrial. É constituído de um motor e uma turbina acoplada diretamente ao eixo e essa turbina, geralmente, pode ter alterada o ângulo de suas pás que, conseqüentemente, altera a sua vazão de ar e o cone que é o suporte de fixação do motor.

Figura 25. Pás de insuflamento de ar ambiente



Fonte: O Autor, 2019.

Como resultado verificou-se que essas pás podem sofrer um aumento em seu do ângulo devido ao aumento de corrente do motor que a constitui. Com corrente baixa, existe a possibilidade de se aumentar o ângulo para obter maior vazão de ar.

Retorno

O retorno constitui-se dos mesmos componentes do insuflamento. A diferença é que este elemento é responsável por retirar o ar do ambiente, através de seus dutos ou túneis, podendo este ar ser reaproveitado ou não no sistema. Para alterar os ângulos das pás das turbinas, deve-se levar em consideração o mesmo procedimento que é utilizado para os insuflamentos.

Bomba

A Figura 26 apresenta a bomba de água na piscina que é responsável pelo bombeamento da água de origem, até os bicos lavadores que ficam em posição vertical logo acima da piscina, formando pequenos esguichos que umidificam o ar de retorno para o ambiente fabril.

Figura 26. Bomba de água da piscina.



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 27 apresenta a válvula da bomba que é utilizada para a regulagem da quantidade de água, que é bombeada pelo recalque. Esta válvula é controlada automaticamente pelo sistema informatizado, ou seja, de acordo com a necessidade no momento, a válvula será modulada mais aberta ou mais fechada. O acionamento da válvula é realizado por um pequeno motor-reductor.

Figura 27. Válvula da Bomba.



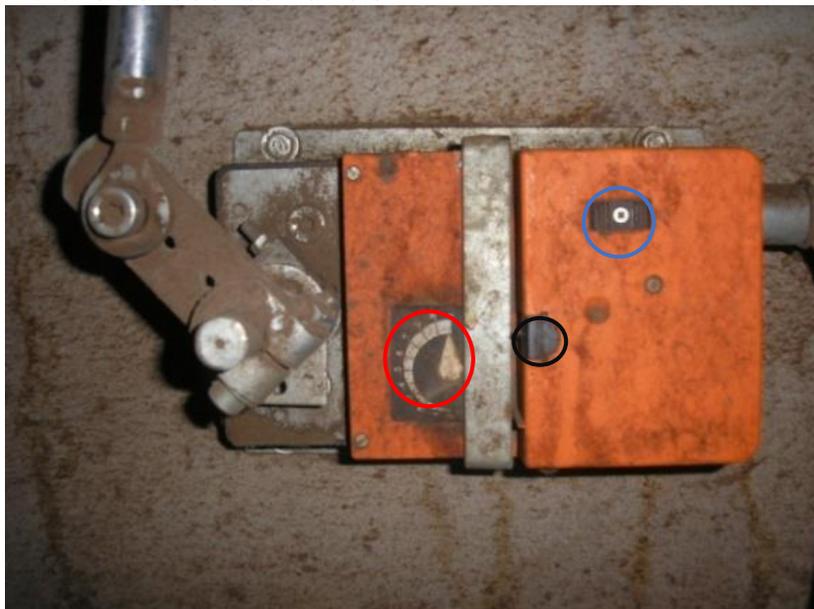
Fonte: O Autor, 2019.

Verificou-se o funcionamento em que a bomba é ligada somente após uma certa abertura da válvula (geralmente acima de 10% de abertura). Isso pode ser alterado diretamente no software supervisorio e desligado também a partir de um certo fechamento da válvula por um certo tempo.

Para deixar esta válvula em perfeito funcionamento, primeiramente verificou-se se o ponto zero do motor acionador da válvula está com o fechamento total e com valor zero no supervisorio. Para tal, é necessário forçar a válvula em um valor próximo de zero no supervisorio, verificar no ponteiro analógico do motor se está marcando zero ou muito próximo. Feito isso, deve-se olhar rapidamente se existe vazão de água. Rapidamente desliga-se a bomba para que ela não tenha um aquecimento grande, pois se estiver correto, não haverá bombeamento de água devido à saída estar fechada.

A Figura 28 apresenta o motor acionador da válvula de controle.

Figura 28. Motor acionador da válvula



Fonte: O Autor, 2019.

Observou-se que o motor possui uma chave de desacoplamento mecânico interno, que faz com que a sua movimentação fique livre e também uma chave de inversão de rotação que possui duas posições A e B, que funcionam da seguinte maneira:

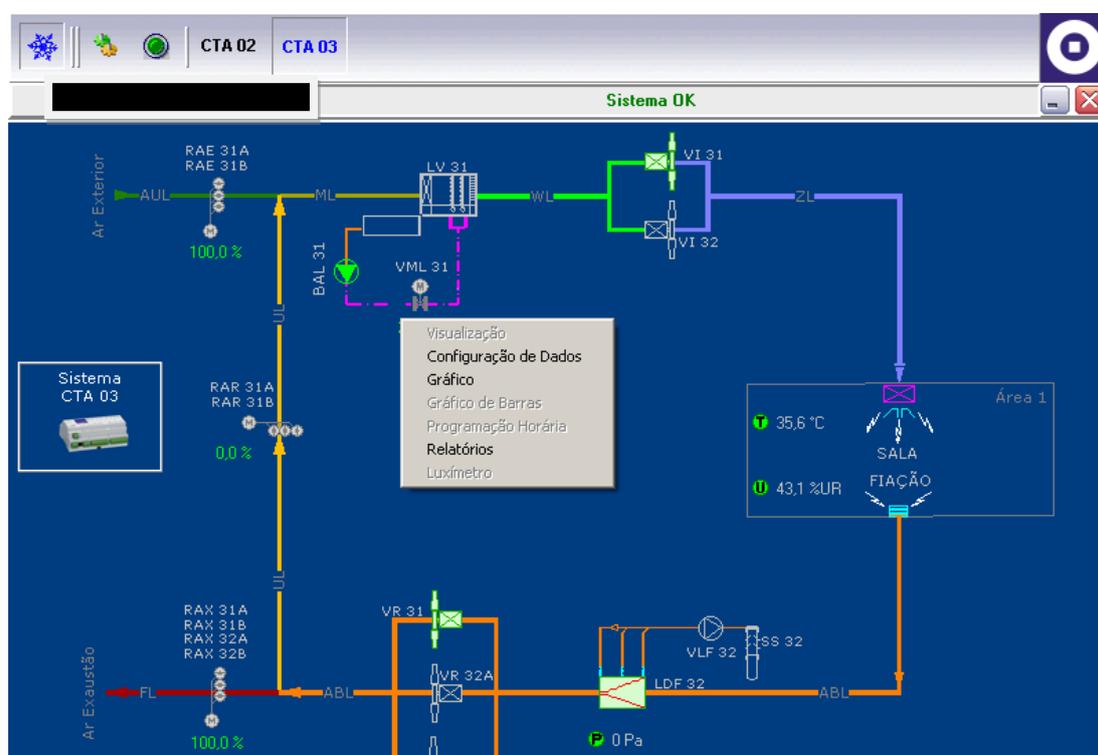
Posição A – Quando a tensão enviada para o motor for 0V, então a posição do belimo, mostrada no ponteiro deve ser 0 – indicando fechamento total dependendo do caso – se for enviada ao motor uma tensão de 10V então a posição do Belimo deve ser 1.

Posição B – Quando a tensão enviada para o motor for 0V, então a posição do belimo, mostrada no ponteiro deve ser 1 – indicando abertura total dependendo do caso – se for enviada ao motor uma tensão de 10V, então a posição do Belimo deve ser 0.

Como estes moto-redutores são utilizados também no posicionamento de janelas, pode haver alguns que funcionam de forma inversa, devido ao posicionamento dos mesmos e também funcionamento do sistema.

A Figura 29 representa o comando do supervisório para forçamento de válvula. Este supervisório através do CLP têm a finalidade de controle da válvula para sua abertura e umidificação do ar de retorno.

Figura 29. Comando do supervisório para forçamento de válvula.

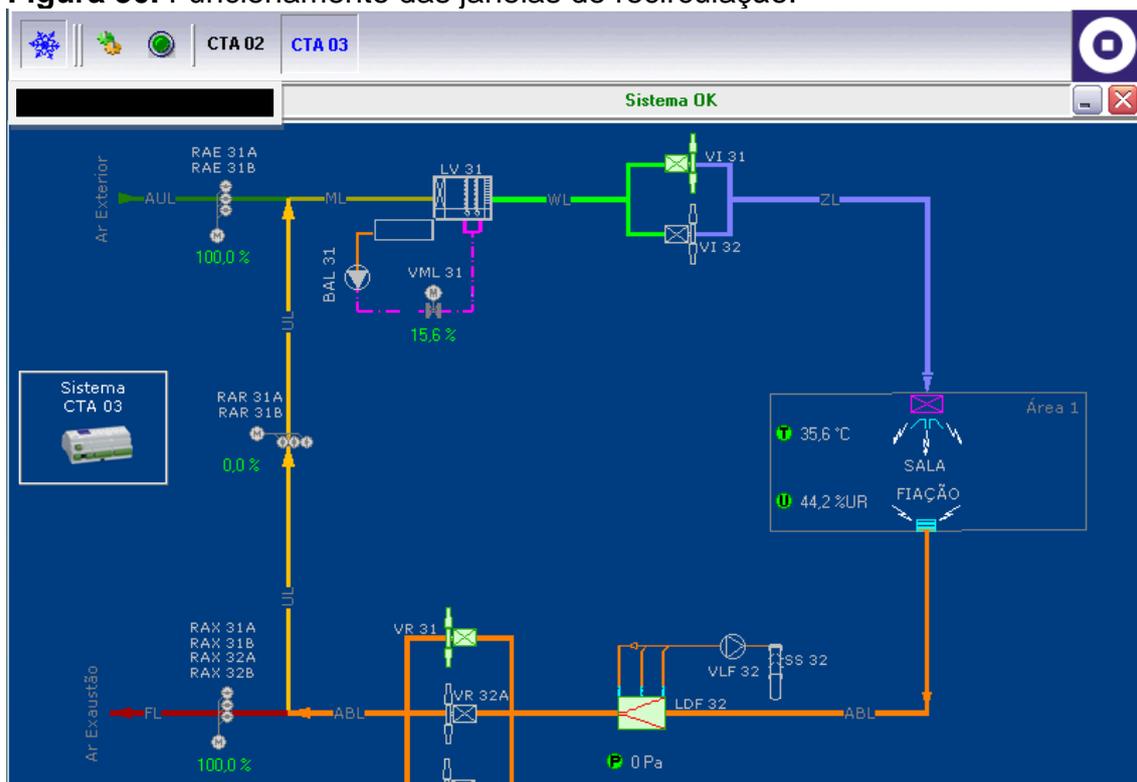


Fonte: O Autor, 2019.

Janelas de recirculação, saída e entrada de ar

A Figura 30 apresenta o funcionamento das janelas de recirculação. O sistema de fechamento e abertura das janelas têm como objetivo controlar a umidade e a temperatura da sala dentro do possível.

Figura 30. Funcionamento das janelas de recirculação.



Fonte: O Autor, 2019.

Como resultado, foi observado que as janelas de recirculação de ar funcionam o inverso das janelas de entrada e saída de ar. Se as janelas de recirculação estão 100% abertas, as janelas de entrada e saída de ar devem estar necessariamente 0% abertas.

Descrição de funcionamento

Os sistemas instalados na empresa funcionam com prioridade na umidade, pois quando esta estiver fora de um padrão estabelecido para tal setor, não há produção correta. Assim, sempre pode haver uma pequena variação entre o *set-point* (umidade desejada) com a umidade atual da sala. Já a

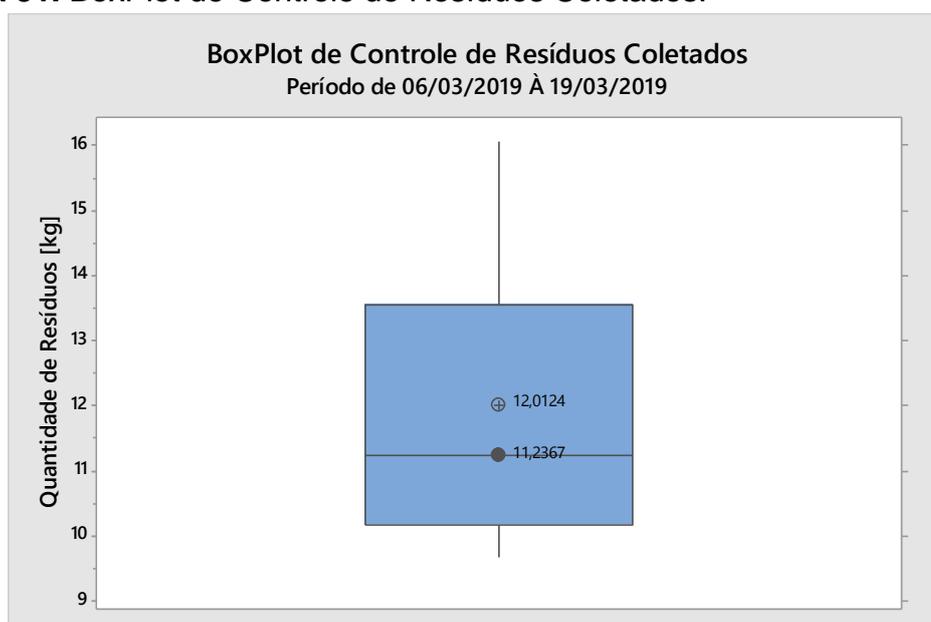
temperatura, é um pouco mais complicada, pois não se tem como abaixá-la devido ao fato de não possuir um sistema de resfriamento do ar (compressores de ar frio). Logo, dentro das salas, sempre vamos ter uma temperatura média no verão em torno de 2° a 5° mais quente que a temperatura externa. Isso também se deve ao fato de que as máquinas geram calor, ou seja, nem tudo é transformado em trabalho (movimento), pois sempre vai haver uma perda de calor.

O controle da umidade ocorre através das janelas, em dias úmidos é feita uma recirculação do ar, ou seja o ar não é renovado, ele é apenas recirculado, o faz com que a temperatura da sala suba gradativamente, até passando alguns graus da temperatura programada.

4.2.2. Descrição dos indicadores, da confiabilidade dos dados e da métrica a ser utilizada

A Figura 31 representa o Gráfico de BoxPlot de controle de resíduos coletados, apresenta as coletas de pesagens dos resíduos do sistema de depuração em suas cinco centrais de depuração (CTA1, CTA2, CTA3, CTA4, CTA5 e CTA6) no período entre 06 de março até 19 de março de 2019.

Figura 31. BoxPlot de Controle de Resíduos Coletados.



Fonte: O Autor, 2019.

Como resultado encontrado e exposto na Figura 31, constatou-se que o sistema tem instalado com seus cinco depuradores de filtragem dos particulados sólidos em suspensão, gerando uma quantidade mássica de resíduos/mês, que é redirecionada para outra em empresa como forma de matéria-prima para mistura de ração animal. O gráfico representa os três turnos de pesagens em todas as cinco centrais de depuração, ou seja, um montante de todos os resíduos sólidos gerados. Após o período de coleta, verificou-se os seguintes resultados para a média de pesagens de resíduos ficou em 12,0124 kg, e a mediana com um valor de 11,2370 kg (ou segundo quartil), está abaixo da média de pesagens, demonstrando uma grande variabilidade no processo de depuração.

A Tabela 11 descreve o cálculo da área de filtragem de cada central. As características de dimensionamento dos filtros instalados nos depuradores em suas respectivas centrais de ar.

Tabela 11. Cálculo da Área de Filtragem de cada Central.

2019					
Centrais	Quantidade de Filtros	Largura [mm]	Comprimento [mm]	Diâmetro [mm]	Área Total [m ²]
1	2	1700	7900	2515,9236	26,8600
1	2	1700	7900	2515,9236	26,8600
2	3	1700	7900	2515,9236	40,2900
2	3	1700	7900	2515,9236	40,2900
3	3	1700	7900	2515,9236	40,2900
3	3	1700	9470	3015,9236	48,2970
4	3	1700	7900	2515,9236	40,2900
5	3	1700	6330	2015,9236	32,2830
5	3	1700	6330	2015,9236	32,2830
6	3	1700	7900	2515,9236	40,2900
6	3	1700	7900	2515,9236	40,2900

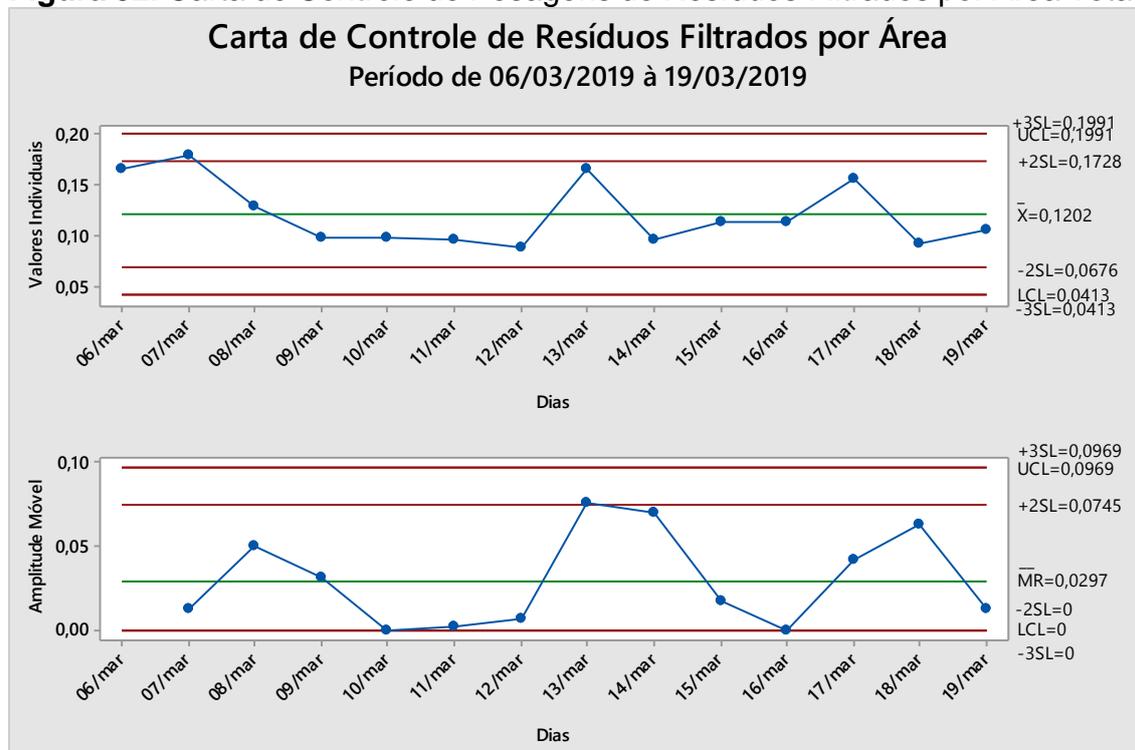
Fonte: O Autor, 2019.

Com o intuito de melhor entender as quantidades de resíduos sólidos, foram gerados dois gráficos com a mesma métrica, para os três turnos de funcionamento da empresa, resultando nas cartas de controle para o processo global. Tais cartas foram geradas pelas coletas e correlacionadas às áreas de filtragens de cada depurador e pelo ciclo temporal de trabalho de 24 horas

interruptos de funcionamento dos mesmos. Com essas informações, foi possível calcular a quantidade de resíduo filtrado por área de captação de cada central.

A Figura 32, apresenta a carta de controle de pesagens de resíduos filtrados por área total. O comportamento das quantidades de resíduos filtrados por unidade de área de capacidade de filtragem dos depuradores para as cinco centrais e nos três turnos de funcionamento da empresa. Observa-se com o resultado a tendência negativa de filtragem em vários pontos, demonstrando que o processo necessita de controle estatístico.

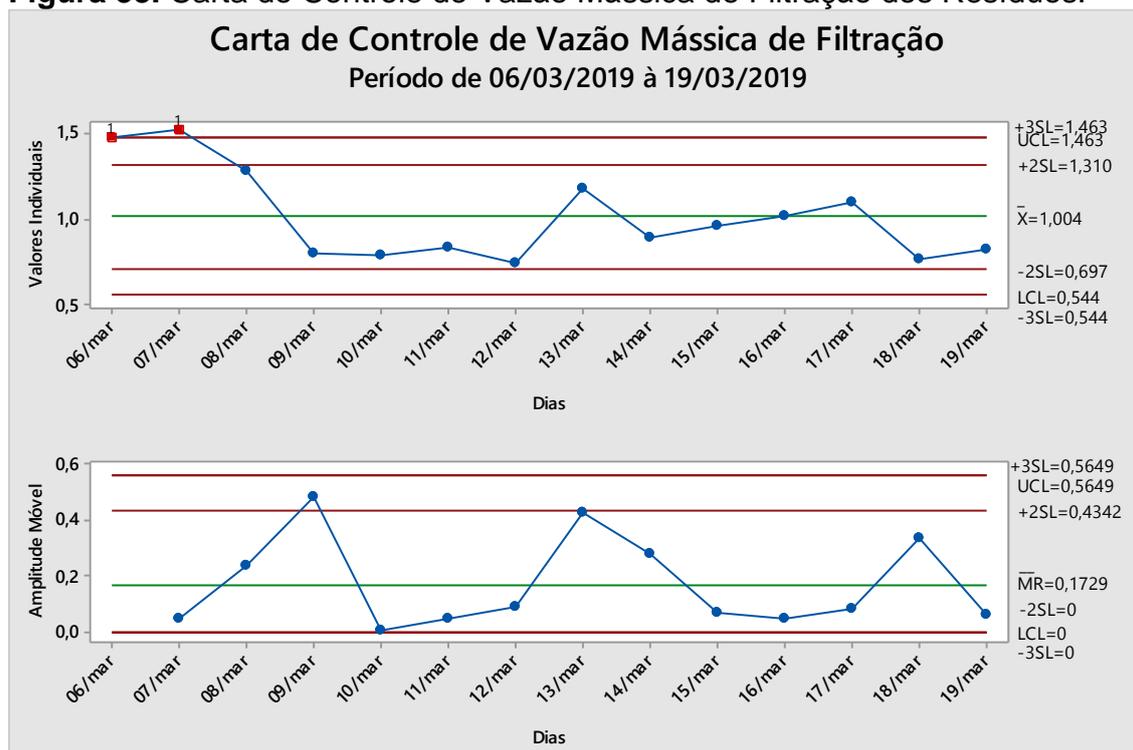
Figura 32. Carta de Controle de Pesagens de Resíduos Filtrados por Área Total.



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 33, apresenta a carta de controle de vazão mássica de filtração dos resíduos. Como resultado, ficou explicitado o comportamento da vazão mássica de filtragem gerada pelos depuradores nas cinco centrais da empresa. Pode-se perceber que existe uma variabilidade no processo indicado pelos pontos em vermelho, em que serão investigadas suas causas durante o processo da metodologia.

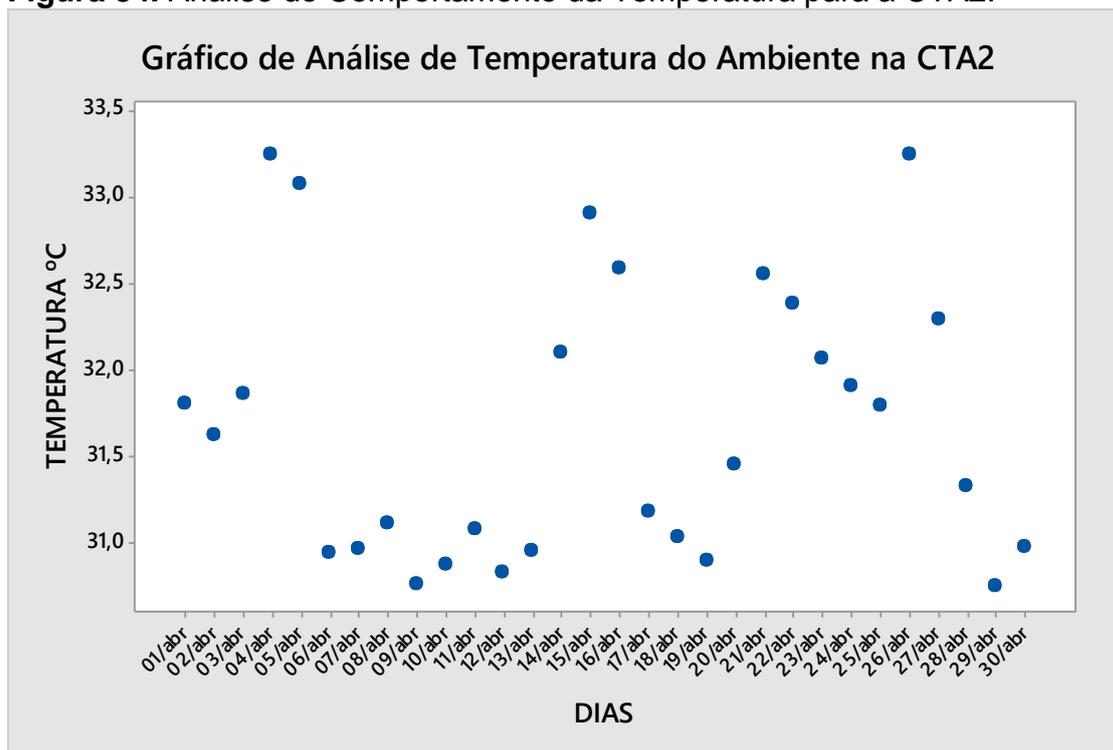
Figura 33. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos.



Fonte: O Autor, 2019.

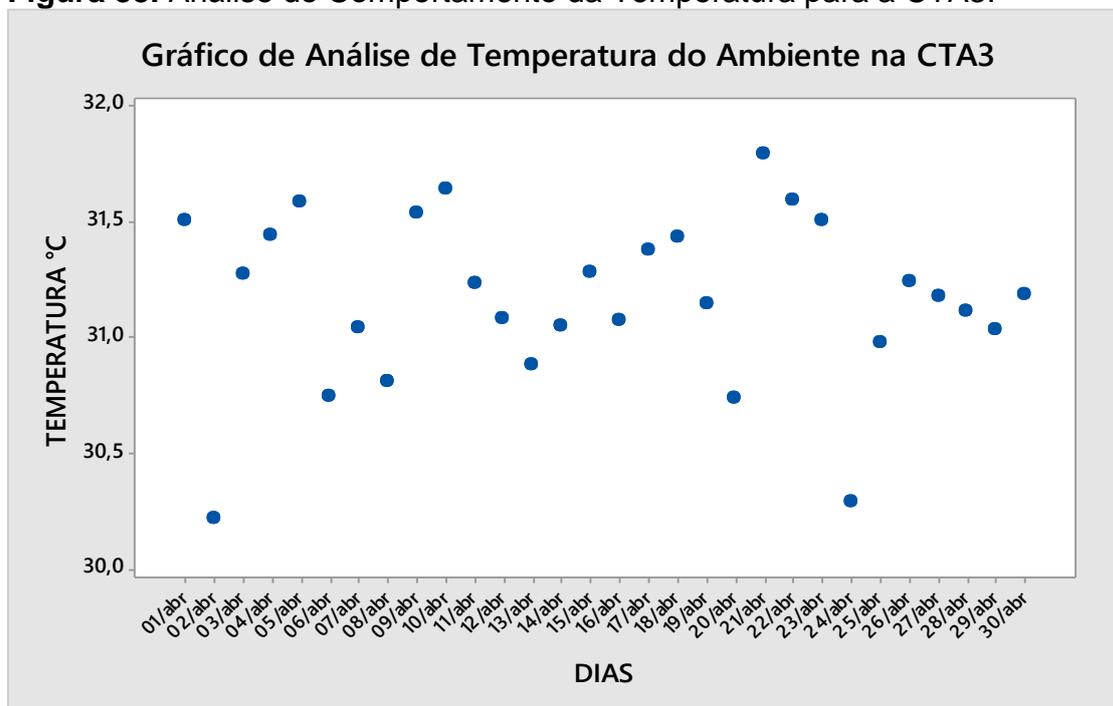
A Figura 34 e Figura 35 apresentam as análises do comportamento da temperatura da CTA2 e CTA3. Como resultado observou-se que os gráficos apresentados estão relacionados com o sistema de controle do processo produtivo do setor dos Filatórios, local com grande quantidade de particulados sólidos em suspensão devido a ser o setor de beneficiamento de algodão e gerador do produto da empresa.

Figura 34. Análise do Comportamento da Temperatura para a CTA2.



Fonte: O autor, 2019.

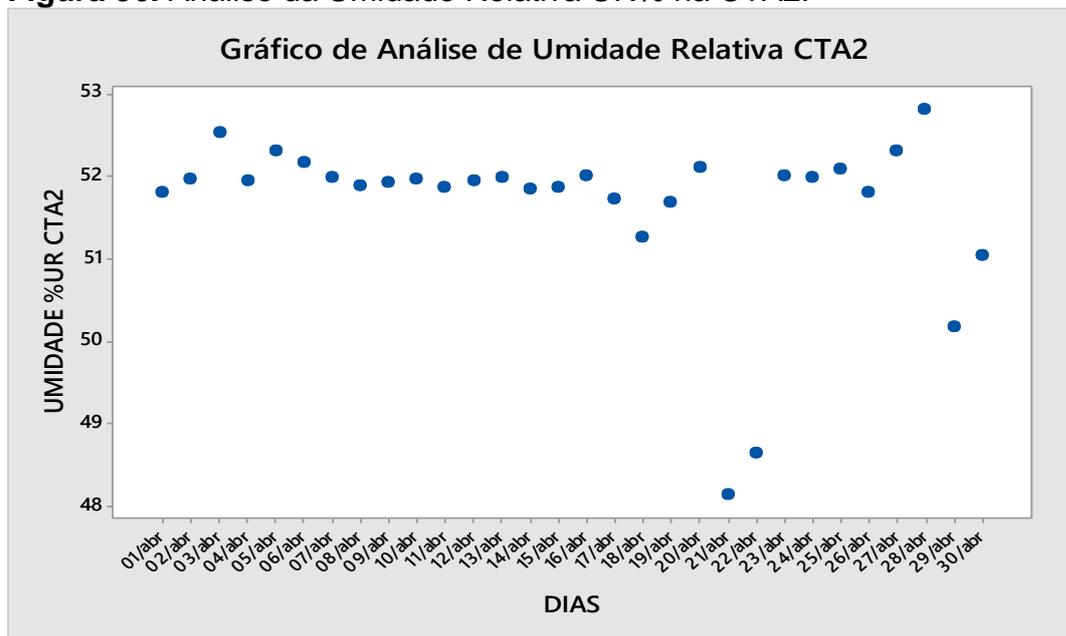
Figura 35. Análise do Comportamento da Temperatura para a CTA3.



Fonte: O autor, 2019.

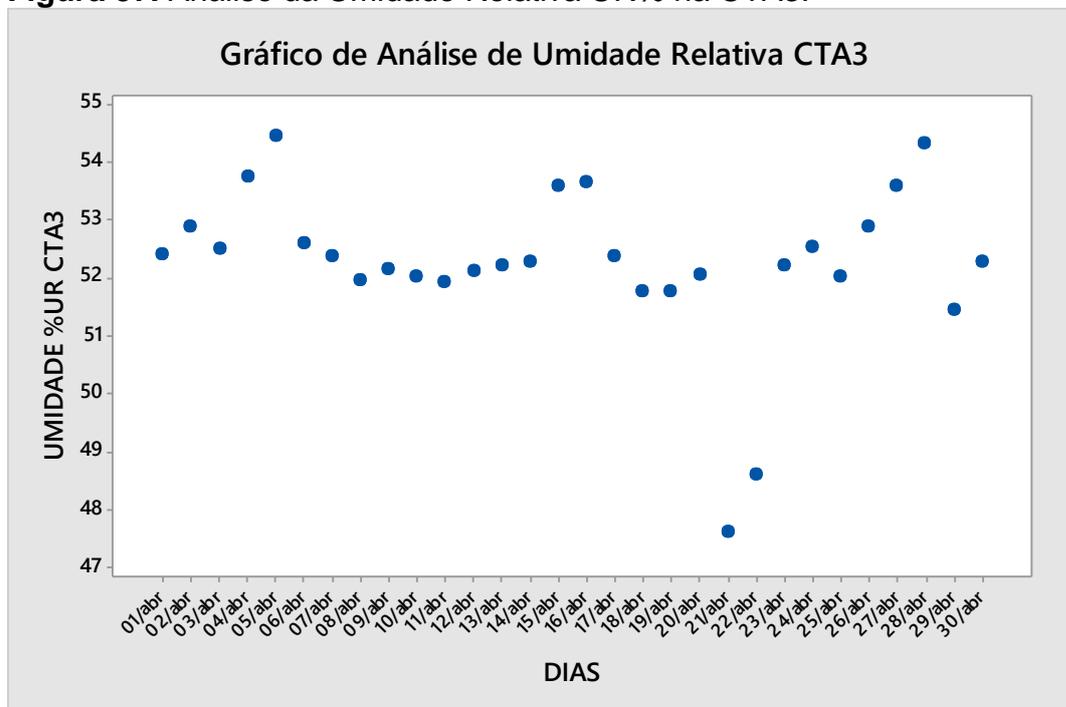
A Figura 36 e Figura 37 apresentam a análise da umidade relativa na CTA2 e CTA3, respectivamente.

Figura 36. Análise da Umidade Relativa UR% na CTA2.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 37. Análise da Umidade Relativa UR% na CTA3.



Fonte: O autor, 2019.

O resultado encontrado para a Central de ar 2, apresenta uma média de temperatura de 31,7°C e na Central 3 de 31,2°C; já para as umidades relativas, com o valor de 51,7 para a central 2 de 52,3 para a central 3. Estes valores são utilizados devido ao controle do processo de fiação, ou seja, a temperatura e a umidade estão correlacionadas ao processo produtivo e não diretamente à saúde dos colaboradores. Visto isso, os mesmos são orientados a utilizarem equipamentos de segurança individual (EPI), para evitarem problemas respiratórios decorrentes da exposição do material particulado oriundo do processo fabril de fiação.

Com relação aos gastos de energia global para o processo produtivo da indústria, a Tabela 12 demonstra os dados de gasto energético global no ano de 2018. Ela foi construída com base no ano de 2018 e aponta os valores de consumo mais perdas, o preço do MWh e o valor total de consumo. O resultado foi os valores totais de consumo de energia elétrica total da unidade industrial.

Tabela 12. Dados de Gasto Energético global no ano de 2018.

2018			
Mês	Consumo + Perdas [MWh]	Preço [R\$/MWh]	Total [R\$/MWh]
Janeiro	3.841,77	206,31	R\$ 792.595,57
Fevereiro	3.760,89	206,31	R\$ 775.909,22
Março	4.079,49	206,31	R\$ 841.639,58
Abril	3.933,23	206,31	R\$ 811.464,68
Mai	3.985,41	206,31	R\$ 822.229,94
Junho	3.970,68	206,31	R\$ 819.190,99
Julho	4.214,79	206,31	R\$ 869.553,32
Agosto	4.147,29	206,31	R\$ 855.627,40
Setembro	4.024,47	206,31	R\$ 830.288,41
Outubro	4.050,44	206,31	R\$ 835.646,28
Novembro	3.959,11	206,31	R\$ 816.803,98
Dezembro	3.746,23	206,31	R\$ 772.884,71
Total			R\$ 9.843.834,08

Fonte: O Autor, 2019.

A Tabela 13 apresenta uma previsão do consumo de energia nas centrais de depuração. O resultado identifica os fatores de potência e energia instalada nas cinco centrais de depuração da empresa. Ela descreve em seus itens todos os equipamentos utilizados para o sistema de filtração em cada

central instalada na empresa, todos os equipamentos citados são do projeto de instalação do depurador.

Tabela 13. Previsão do consumo de Energia nas Centrais de Depuração.

2019					
CTA	Código	Motor	kW	Potência em kW	Energia calculada R\$
1	R1.1	Retorno	29,44	17,1	294,80
1	R1.2	Retorno	29,44	17,1	294,80
1	I1.1	Insuflamento	29,44	28,4	491,33
1	I1.2	Insuflamento	29,44	32,2	556,84
1	I1.3	Insuflamento	29,44	30,8	532,27
Potência em kW			147,2	125,6	2170,03
2	R2.1	Retorno	29,44	32,7	565,03
2	R2.2	Retorno	36,8	31,8	548,65
2	I2.1	Insuflamento	29,44	27,0	466,76
2	I2.2	Insuflamento	29,44	27,5	474,95
2	I2.3	Insuflamento	29,44	28,0	483,14
2	I2.4	Insuflamento	29,44	27,5	474,95
Potência em kW			184	174,4	3013,48
3	I3.1	Insuflamento	18,4	10,4	180,15
3	I3.2	Insuflamento	18,4	9,0	155,59
3	R3.1	Retorno	36,8	33,2	573,22
3	R3.2	Retorno	29,44	30,3	524,08
3	R3.3	Retorno	29,44	29,4	507,71
Potência em kW			132,48	112,3	1940,75
4	I4.1	Insuflamento	36,8	26,5	458,57
4	R4.1	Retorno	36,8	17,1	294,80
Potência em kW			73,6	43,6	753,37
5	I5.1	Insuflamento	29,44	26,1	450,38
5	I5.2	Insuflamento	29,44	27,0	466,76
5	R5.1	Retorno	29,44	13,3	229,29
5	R5.2	Retorno	29,44	10,9	188,34
Potência em kW			117,76	77,2	1334,77
6	I6.1	Insuflamento	29,44	25,6	442,20
6	I6.2	Insuflamento	29,44	23,7	409,44
6	I6.3	Insuflamento	29,44	22,7	393,06
6	R6.1	Retorno	29,44	9,0	155,59
6	R6.2	Retorno	29,44	10,0	171,96
6	R6.3	Retorno	29,44	10,4	180,15
Potência em kW			176,64	101,4	1752,40
				Total =	R\$ 10.964,81

Fonte: O Autor, 2019.

Para a análise do indicador Número de Colaboradores com Problemas Respiratórios, pesquisou-se em banco histórico do SESMT da empresa o número de colaboradores desde o ano de 2014 até o ano de 2018, os quais apresentaram problemas respiratórios por motivos de trabalho no ambiente industrial pela presença de particulados em suspensão do ar. A Tabela 14 e a Tabela 15 explicitam o número de colaboradores com problemas respiratórios entre 2014 a 2019. Demostram os dados coletados e estratificados por setor e turno de atuação do colaborador.

O resultado observado que ocorreu uma variação desse indicador com uma tendência negativa, ou seja, o número de colaboradores vem diminuindo devido a mudanças já aplicadas no ambiente de trabalho para minimizar os impactos. Sendo elas de caráter comportamental e técnico, com utilização correta e adequada de EPI's e seguindo protocolo de operação segundo as normas da NR 12 para respirador de adução de ar tipo máscara autônoma de fuga, que preconiza o treinamento contínuo de colaboradores para o uso correto de equipamentos de proteção individual.

Tabela 14. Número de Colaboradores com Problemas Respiratórios 2014 a 2016.

2014			2015			2016		
Setor	Turno	Quantidade	Setor	Turno	Quantidade	Setor	Turno	Quantidade
Embalagem	1°	1	Filatório	1°	3	Embalagem	1°	1
Filatório	1°	4	Auxiliar de segurança	1°	1	Auxiliar de segurança	1°	1
Auxiliar de segurança	1°	1	Abertura/cardas	1°	1	Passador de 2ª passagem	1°	1
Limpeza	1°	3	Maçaroqueira	1°	2	Filatório	1°	2
Abertura/cardas	1°	1	Limpeza	1°	1	Limpeza	1°	1
Maçaroqueira	1°	1	Manutenção	1°	1	Auxiliar de segurança	2°	1
Manutenção	1°	1	Unilap	1°	1	Abertura/cardas	2°	1
Autocoro	2°	1	Autocoro	2°	1	Maçaroqueira	2°	1
Filatório	2°	2	Filatório	2°	2	Filatório	2°	1
Maçaroqueira	2°	2	Auxiliar de segurança	2°	1	Laboratório	2°	1
Auxiliar de segurança	2°	1	Abertura/cardas	2°	1	Maçaroqueira	3°	1
Abertura/cardas	2°	1	Manutenção	2°	1	Filatório	3°	1
Prensa penteada	2°	1	Maçaroqueira	2°	1	Manutenção	3°	1
Manutenção	2°	1	Prensa penteada	2°	1	Abertura/cardas	3°	2
Maçaroqueira	3°	2	Maçaroqueira	3°	1	Unilap	3°	1
Manutenção	3°	3	Filatório	3°	1	Filatório	3°	1
Filatório	3°	2	Manutenção	3°	1	Expedição	Apoio	2
Abertura/cardas	3°	1	Abertura/cardas	3°	2	Conservação	Apoio	1
Expedição	Apoio	4	Unilap	3°	1	Porteiro	Apoio	1
Conservação	Apoio	1	Filatório	3°	2	Manutenção/supervisor	Apoio	1
Gerente industrial	Apoio	1	Expedição	Apoio	3			
Elétrica/Supervisor	Apoio	1	Conservação	Apoio	1			
Manutenção	Apoio	1	Porteiro	Apoio	1			
Auxiliar de segurança	Apoio	1	Manutenção/supervisor	Apoio	1			
			Manutenção	Apoio	1			
			Auxiliar de segurança	Apoio	1			
Total =		38	Total =		34	Total =		23

Fonte: O Autor, 2019.

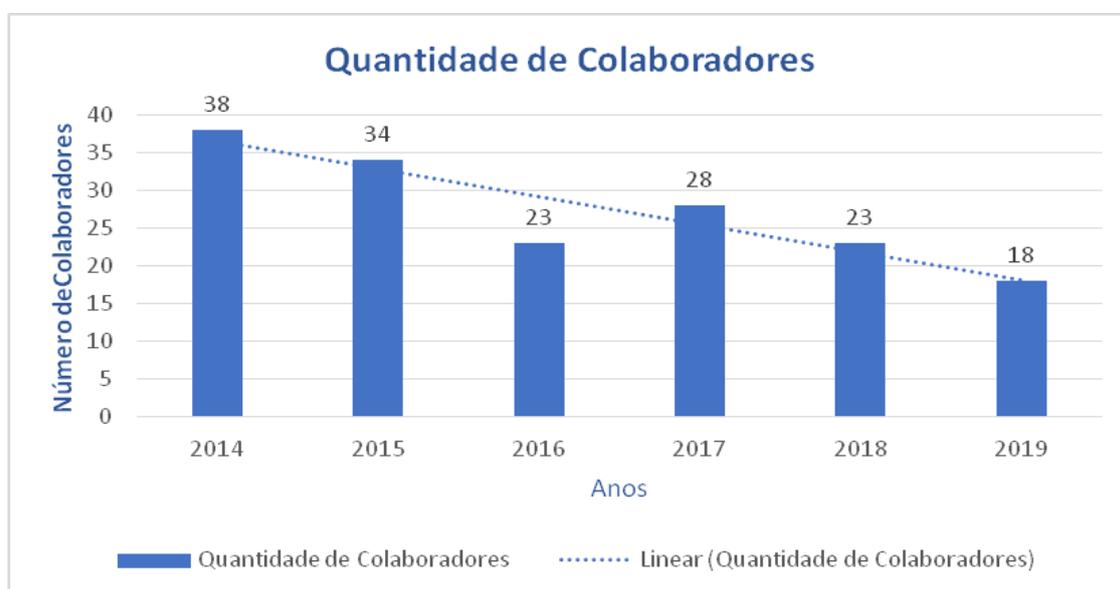
Tabela 15. Número de Colaboradores com Problemas Respiratórios 2017 a 2019.

2017			2018			2019		
Setor	Turno	Quantidade	Setor	Turno	Quantidade	Setor	Turno	Quantidade
Filatório	1°	2	Maçaroqueira	1°	1	Expedição	1°	2
Manutenção	1°	1	Expedição	1°	3	Autoconer	1°	1
Sala de abertura	1°	1	Conservação	1°	1	Abertura	1°	1
Sala de filtro	1°	1	Manutenção	1°	2	Filatório	1° e 2°	5
Auxiliar de segurança	2°	1	Administrativo	2°	1	Expedição	2°	1
Maçaroqueira	2°	1	Filatório	2°	7	Manutenção	2°	2
Abertura/cardas	2°	1	Cardas	2°	1	Unilap	2°	1
Encarregado de produção	2°	1	Unilap	2°	2	PASSADOR 2°	2°	1
Sala de abertura	2°	1	Autoconer	2°	1	Maçaroqueira	2°	1
Supervisora de produção	2°	1	Abertura	2°	1	Sala de abertura	2°	1
Filatório	2°	2	PASSADOR 2°	2°	2	Filatório	3°	2
Maçaroqueira	3°	1	Passador OE	3°	1			
Filatório	3°	4						
Supervisor de produção	3°	1						
Abertura/cardas	3°	1						
Embalagem	3°	1						
Porteiro	Apoio	1						
Expedição	Apoio	1						
Limpeza	Apoio	1						
Total =		28	Total =		23	Total =		18

Fonte: O Autor, 2019.

Com base no que foi apresentado nas Tabelas 14 e 15, há um histórico de colaboradores que passaram pelo SESMT da *Empresa X* ao longo de seis anos. Um comparativo se encontra na Figura 38, que apresenta a quantidade de colaboradores anual com problemas respiratórios. O resultado encontrado expressa os números totais do histórico existente na empresa, que apresentaram problemas respiratórios por motivos de trabalho no ambiente industrial ocorrem pela presença de particulados em suspensão do ar. E no ano de 2019 o resultado da aplicação da metodologia DMAIC completa como resultado, retratando uma diminuição dos casos.

Figura 38. Quantidade de colaboradores anual com problemas respiratórios.



Fonte: O Autor, 2019

4.2.3. Descrição da justificativa do projeto a ser realizado

O Quadro 4 representa o acordo firmado com a empresa para a aplicação das melhorias contínuas que foram feitas durante o desenvolvimento do trabalho. Este quadro recebe o nome de *Business Case* e representa o comprometimento do pesquisador no desenvolvimento do trabalho. Este quadro foi modelado de forma a apresentar as características dos integrantes do projeto, a descrição do problema e oportunidade, a meta geral consoante com o objetivo geral e objetivos específicos do trabalho, os ganhos a serem almejados e as possíveis limitações. Por fim, os recursos a serem utilizados até o final do projeto.

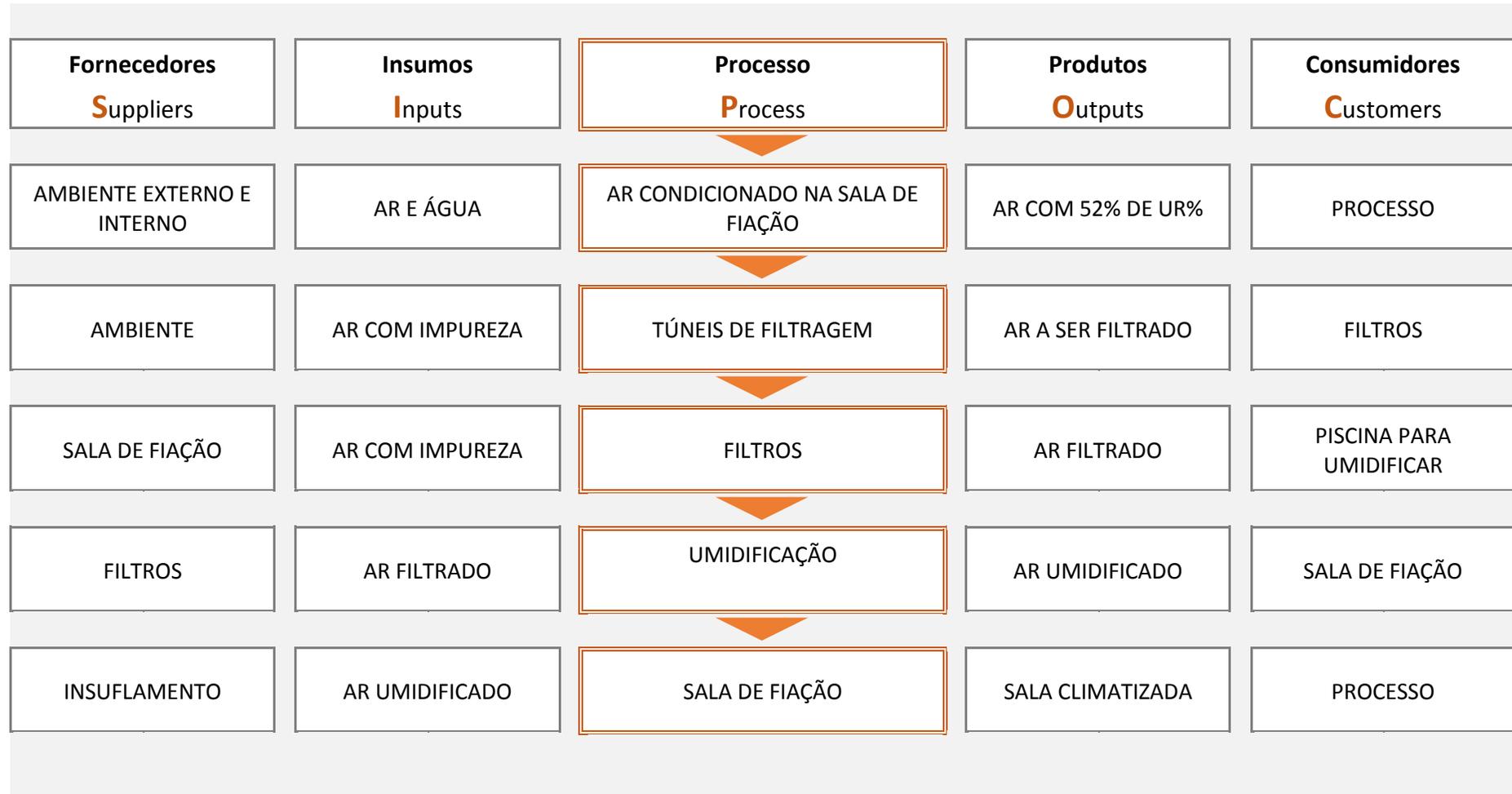
Quadro 4. Business Case da *Empresa X*.

Champion Responsável: GESTOR INDUSTRIAL	
Candidato: Joel Cordeiro Júnior Colaborador 1 Colaborador 2	Projeto nº: 001
Empresa: "EMPRESA X"	
Título do Projeto: OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DEPURAÇÃO DE PARTICULADOS NO AR	
Prazo do Projeto: <input checked="" type="checkbox"/> Médio Prazo <input type="checkbox"/> Longo Prazo	
Data de Elaboração do Business Case: 01/03/2019	Revisão : 001
Descrição do Problema/Oportunidade:	
Com a otimização do sistema de depuração de sólidos particulados no ar, a quantidade de partículas suspensas no ambiente de trabalho "GEMBA" irá diminuir, proporcionando uma melhoria na qualidade do ar e minimizando os casos de problemas respiratórios entre os colaboradores;	
Meta Geral DESEJADA:	
Melhorar a captação de sólidos particulados no ar estabilizando o processo atualmente instalado;	
Ganhos Resultantes da Execução do Projeto (Diretos/Indiretos):	
Identificar e caracterizar fontes geradoras de resíduos de sólidos em suspensão no ar; Descrever as causas e consequências de problemas respiratórios de colaboradores e comunidade próxima à empresa; Validar procedimento para a medição do índice de filtragem do equipamento de tecnologia utilizado na indústria; Prospectar tecnologias de tratamento e identificação de propostas de melhoria.	
Possíveis Limitações:	
Possíveis problemas de calibragem do equipamento em estudo; Formação do colaborador e disponibilidade do mesmo para reuniões e <i>feedback</i> ; Matéria-prima com qualidade diversificada no processo.	
Recursos a Serem Providenciados:	
MINITAB 18 para o pesquisador do trabalho; Equipe de funcionários para auxiliar no projeto; Sala para reuniões e discussão das etapas do projeto.	

Fonte: O Autor, 2019.

Como última etapa do DEFINE, foi elaborada o Diagrama SIPOC para o processo de Depuração Instalado. A Figura 39 ilustra o mesmo, que expressa a aplicação da ferramenta de qualidade que resume as entradas e saídas de um ou mais processos em forma de tabela.

Figura 39. Diagrama SIPOC.



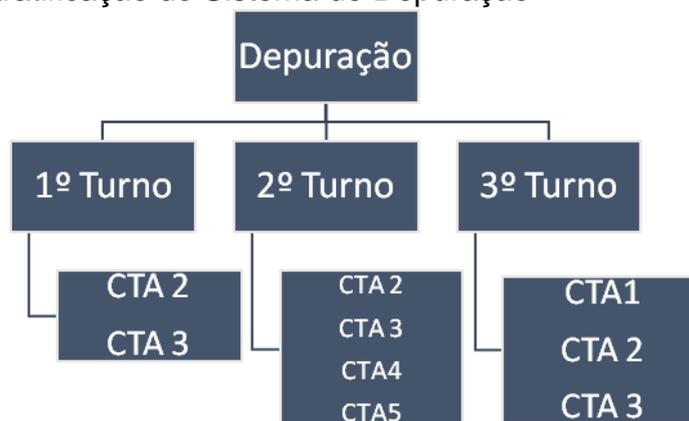
Fonte: O Autor, 2019.

4.3. RESULTADOS DA ETAPA 2 – 2) MENSURAR (*MEASURE*): Análise e estratificação de dados, indicador ECOEFICIÊNCIA e de metas específicas de melhoramento de depuração industrial

4.3.1. Análise e estratificação dos fatores que geram o problema de depuração

Após análise das centrais de ar instaladas no processo, optou-se por uma estratificação de turno e centrais em que foram coletadas as quantidades de resíduos. Com base no histórico dos indicadores, há os resultados estratificados para as cinco centrais de depuração. A Figura 40 apresenta o diagrama da estratificação do sistema de depuração. Como resultado a estratificação completa para os três turnos de trabalho do sistema de depuração.

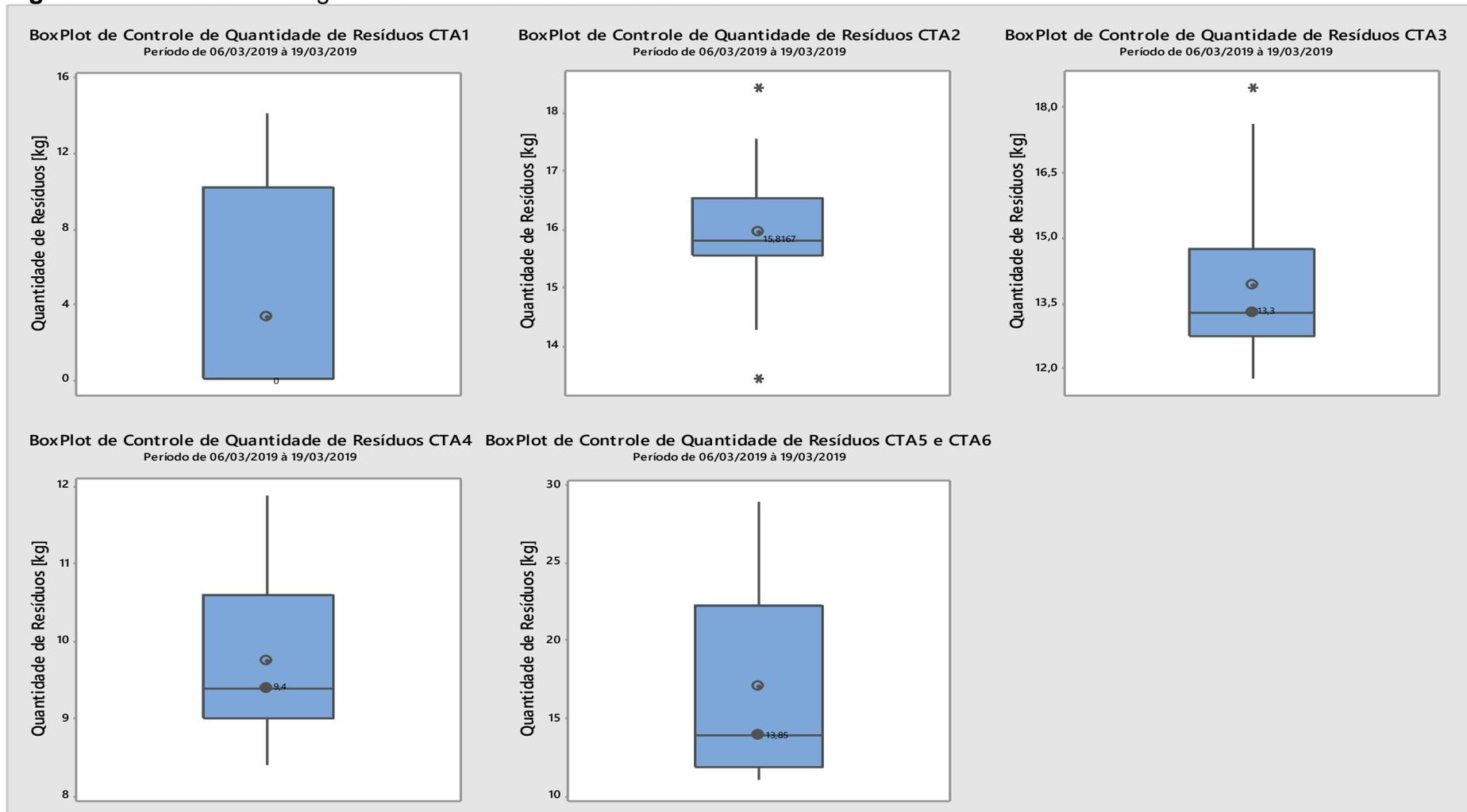
Figura 40. Estratificação do Sistema de Depuração



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 41 demonstra a análise das pesagens de resíduos sólidos para as centrais 1 até a 6 que correspondem ao número total de equipamentos instalados no processo de depuração para o período de 6 de março a 19 de março de 2019. No resultado, verificou-se que central 1 apresenta a menor quantidade de resíduos devido ao motivo de que sua coleta é feita apenas no terceiro turno. As centrais 2 e 3 foram pesadas nos três turnos e as centrais 4 e 5, foram pesadas apenas no segundo turno.

Figura 41. Análise de Pesagens de Resíduos da CTA1 a CTA6



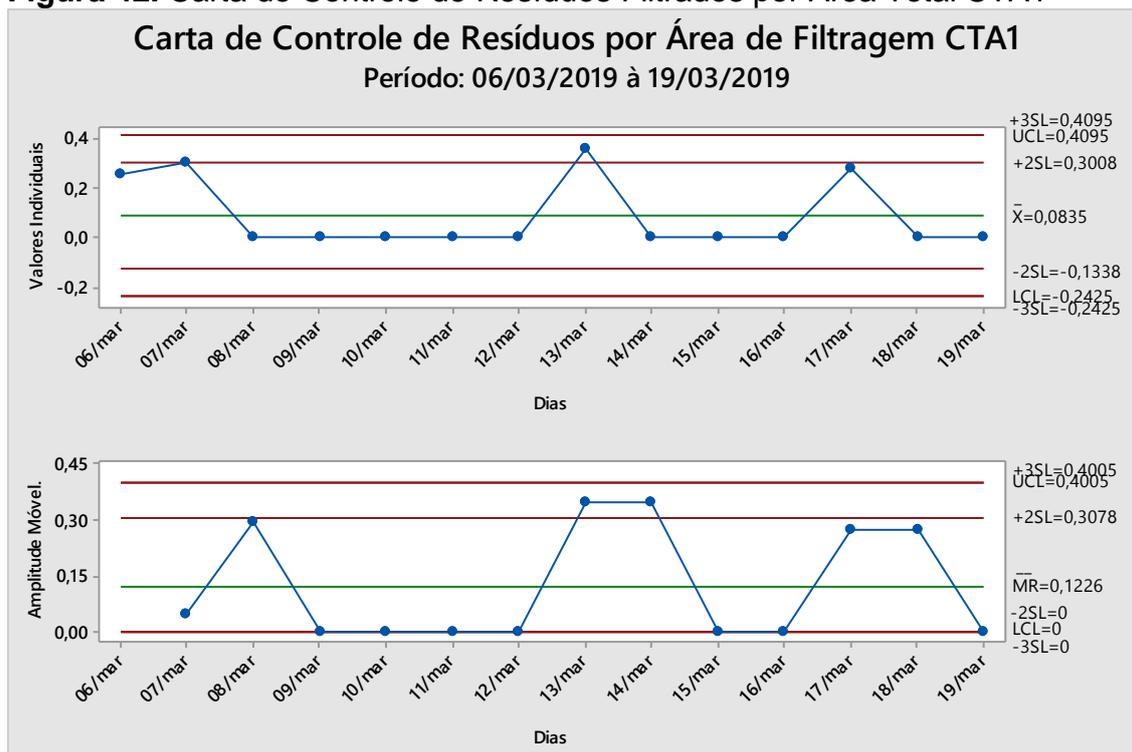
Fonte: O Autor, 2019.

O resultado encontrado para a central 2, apontou uma variância estatística com média de 15,9643 kg de resíduo coletado, representado pelo círculo quadriculado e um valor de mediana de 15,8167 kg (ou segundo quartil) muito próximo da média. Para a central 3, a estatística apurou uma média de 13,9119 kg de resíduo coletado representado pelo círculo quadriculado e um valor de mediana de 13,3000 kg (ou segundo quartil) muito próximo da média. A central 4, apresentou um média de 9,7429 kg de resíduo coletado representado pelo círculo quadriculado e um valor de mediana de 9,4000 kg (ou segundo quartil) muito próximo da média. É válido ressaltar que ela não se encontra em um setor de quantidade de particulado suspenso considerável, pois ela é responsável pela atividade de Conicaleira, umas das últimas do processo, produzindo poucos resíduos no ar.

Por último, para a Central 5 e Central 6, a estatística revelou uma média de 17,0786 kg de resíduo coletado representado pelo círculo quadriculado e um valor de mediana de 13,8500 kg (ou segundo quartil) muito distante da média. Nota-se, como ressalva, que ela não se encontra em um setor de quantidade de particulado suspenso considerável, pois ela está instalada no setor de saturação e embalagem.

Todas as centrais analisadas apontaram problemas estatísticos com relação aos critérios da média e mediana estarem muito distantes, revelando um descontrole no processo, oportunizando a aplicação de melhorias através da ferramenta do Seis Sigma. Com base no que foi coletado de quantidades de resíduos, foram gerados os gráficos para o indicador de quantidades mássicas por área de filtragem para cada depurador, por meio de Cartas de Controle no período correspondente entre 6 de março a 19 de março de 2019, para um melhor entendimento de como os filtros captam esses resíduos suspensos no ar para todas as centrais analisadas no processo.

A Figura 42 apresenta a carta de controle de resíduos para a Central 1 e seu comportamento estatístico de processo de depuração, com base nas pesagens de resíduos e área total de filtração.

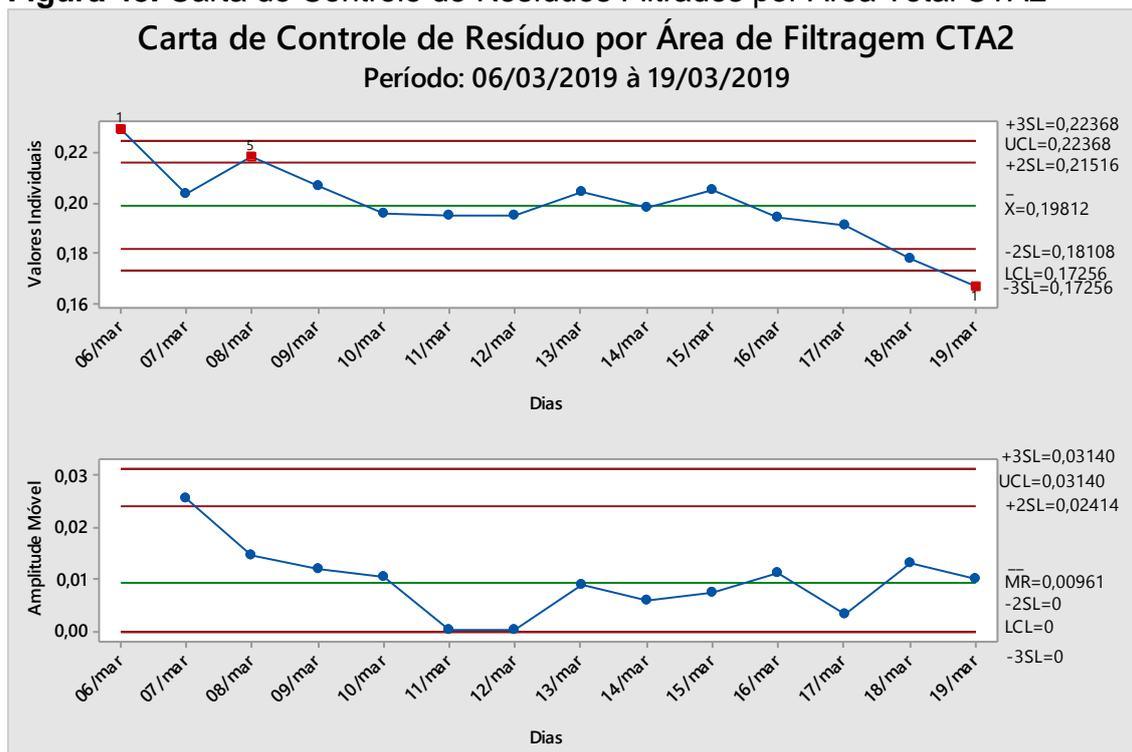
Figura 42. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA1

Fonte: O Autor, 2019.

Como resultado, observa-se que a Central 1 é a que representa a menor quantidade de resíduo coletado. A causa para esse motivo justifica que foram realizadas apenas quatro pesagens durante o período de tempo no terceiro turno. É visível na Carta de Controle, uma “causa especial”, ou seja, muitos pontos de valores igual a zero para os períodos entre 08 a 12 de março, entre 14 a 16 de março e 18 a 19 de março, abaixo da linha central conhecida como linha da média, obtendo um valor pequeno e igual a $0,0835 \text{ kg/m}^2$.

A Figura 43 representa a Carta de Controle para o indicador de quantidade de resíduo por área de filtragem para a CTA2 para o mesmo período, obtendo o seu comportamento estatístico no processo de depuração.

Figura 43. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA2

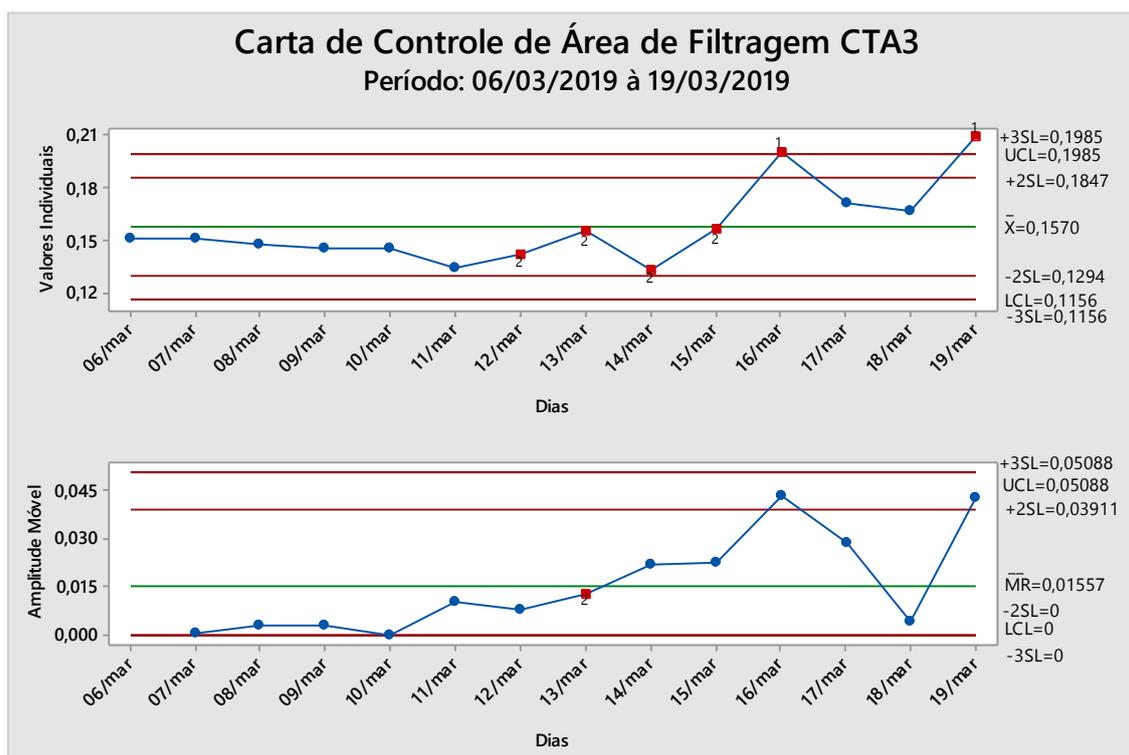


Fonte: O Autor, 2019

O resultado encontrado para a Central 02, em destaque, apresenta um comportamento estatístico fora do padrão de controle de processo explicados por três motivos; o primeiro fica evidenciado que ocorreu falha em dois testes estatísticos com base no padrão seis sigma (6σ) estipulado para o processo. No primeiro, que sinaliza falha no teste 1, revela que ocorreu mais de um ponto a mais do que o três sigma (3σ) da linha central, no caso um superior e outro inferior e o teste 5, que sinaliza um ponto superior a mais do que o dois sigma (2σ) da linha central. O segundo motivo trata do comportamento descendente do processo durante o período de tempo evidenciando que o processo estava abaixando sua capacidade de depuração; o terceiro motivo trata da Carta de Amplitude Móvel, fica visível que o processo não está em controle estatístico devido à variância no processo de depuração. O depurador analisado indicou uma média de $0,19812 \text{ kg/m}^2$, disponibilizando a oportunidade de aplicações de ações para melhoria em seu processo, estabilizando a amplitude móvel dos dados e aumento a sua média.

A Figura 44 representa a Carta de Controle para o indicador de quantidade de resíduo por área de filtragem para a CTA3.

Figura 44. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA3

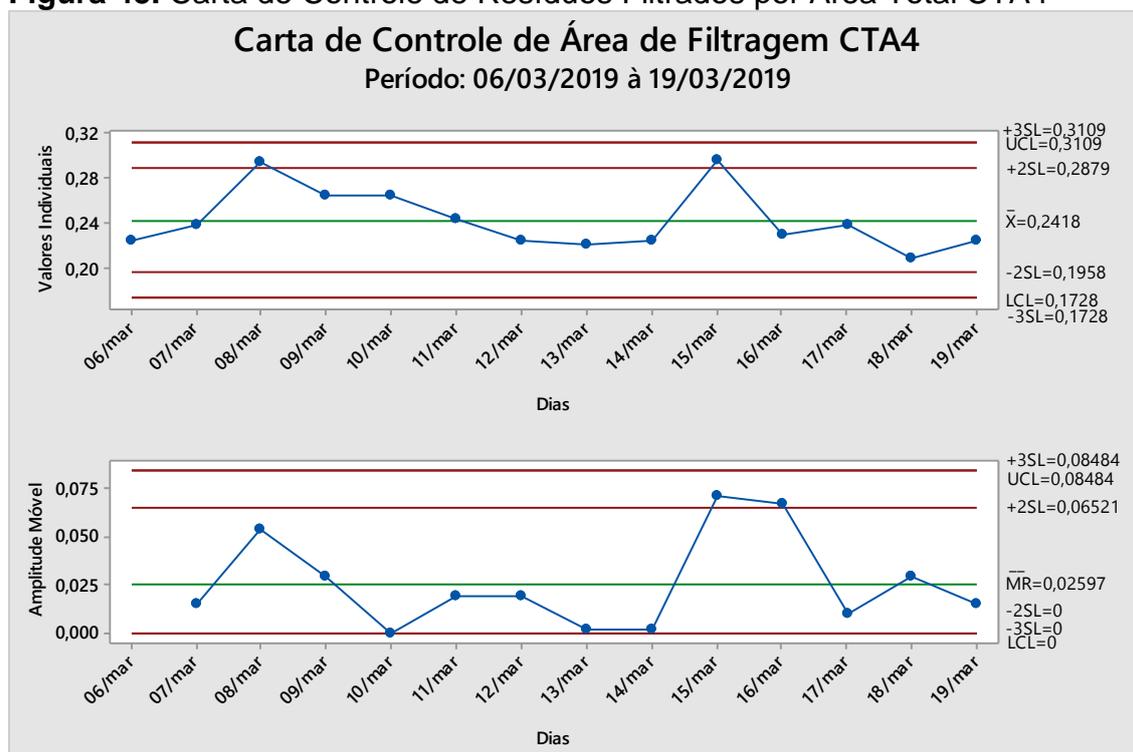


Fonte: O Autor, 2019.

A Central 03 apresenta o comportamento estatístico com maiores problemas, evidenciados pelas falhas nos testes estatísticos. Ocorreram duas falhas, sendo elas, no teste 1 que sinaliza a ocorrência de mais um ponto a mais do que o três sigma (3σ) da linha central, no caso dois pontos superiores e falha no teste 2, que sinaliza nove pontos em uma linha no mesmo lado da linha central. No caso, abaixo da mesma com mudanças da centralização e variação do processo no período de tempo entre 06 a 15 de março. A média encontrada para o depurador foi de $0,1570 \text{ kg/m}^2$, menor em comparação à Central 3, pois as duas atuam próximas e estão interligadas pelo mesmo conjunto de túneis de sucção de particulados no setor dos Filatórios do processo industrial.

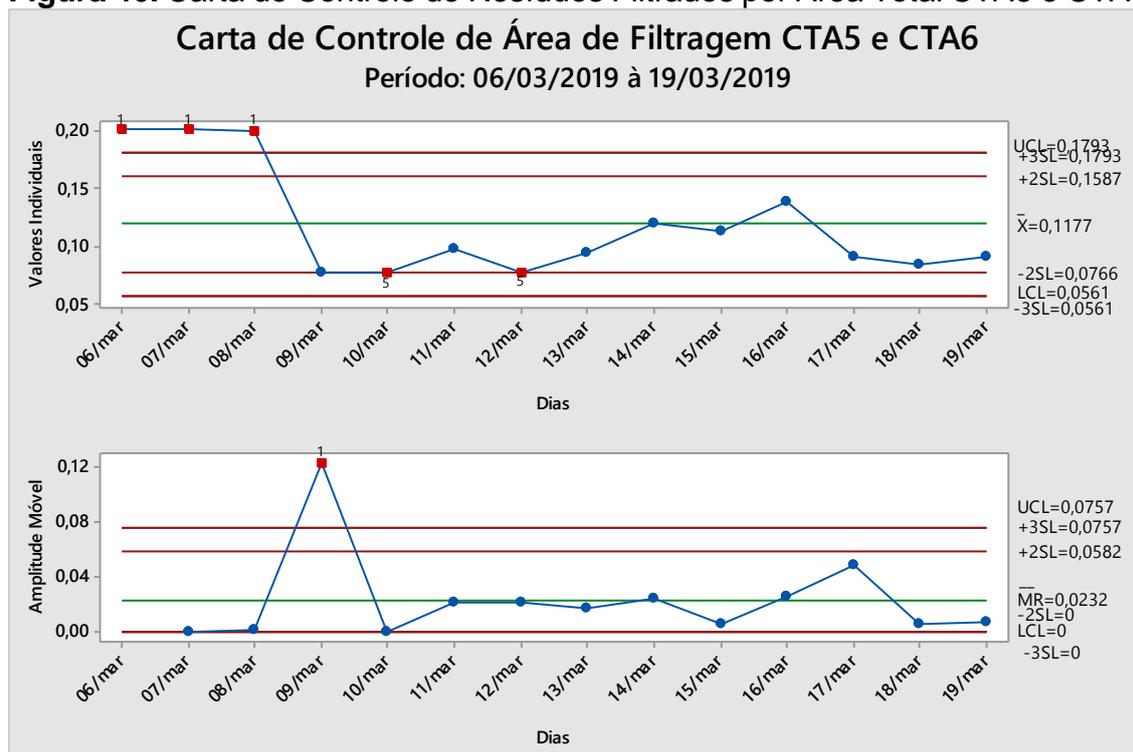
A Figura 45 demonstra o comportamento estatístico da Central 4, ela se localiza no setor saturação, que corresponde ao estágio de permeabilização dos fios nos cones para posterior envio ao setor de embalagens. Esta central não apresentou nenhuma falha nos testes estatísticos da Carta de Controle, motivo que se justifica pela localização de seu funcionamento, uma área mais ventilada e com menos equipamentos que não obstruem os túneis de sucção dos particulados.

Figura 45. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA4



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 46 representa a Carta de Controle para o indicador de quantidade de resíduo por área de filtragem para a CTA5 e CTA6. As centrais estão unidas devido ao coletor de resíduos ser interligados para ambas e estarem no setor de laboratórios, controle de qualidade do processo e expedição, a etapa final do processo industrial.

Figura 46. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA5 e CTA6

Fonte: O Autor, 2019.

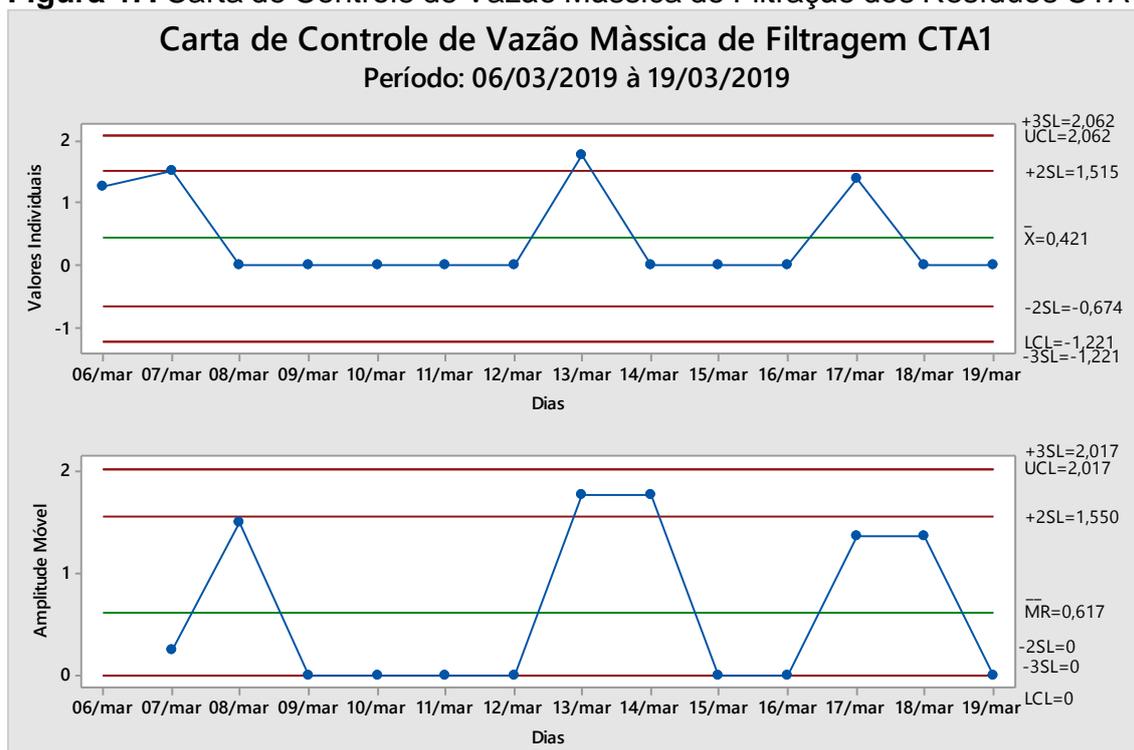
A Central 5 e Central 6 se refere aos equipamentos com menores quantidades de resíduos, por estarem em setores do processo considerados mais limpos. Porém, a estatística evidenciou falhas em dois testes, ressalta-se que as coletas foram efetuadas apenas no segundo turno. Ocorreu falha no teste 1, que sinaliza a ocorrência de mais um ponto a mais do que o três sigma (3σ) da linha central, no caso três pontos superiores e, no teste 5, que sinaliza dois pontos a mais que dois sigma (2σ) da linha central no mesmo lado. Para a Amplitude Móvel a falha no teste 1, corrobora com os dados do valor individual que também falharam, demonstrando a situação de descontrole estatístico naquele período.

Com base no que foi coletado de quantidades de resíduos, foram gerados os gráficos para o indicador de quantidades mássicas por área de filtragem para cada depurador, por meio de Cartas de Controle no período correspondente entre 6 de março a 19 de março de 2019, para um melhor entendimento de como os filtros captam esses resíduos suspensos no ar para todas as centrais analisadas no processo.

Para o indicador de Vazão Mássica, que corresponde às quantidades mássicas por período de funcionamento do depurador foram feitos gráficos para

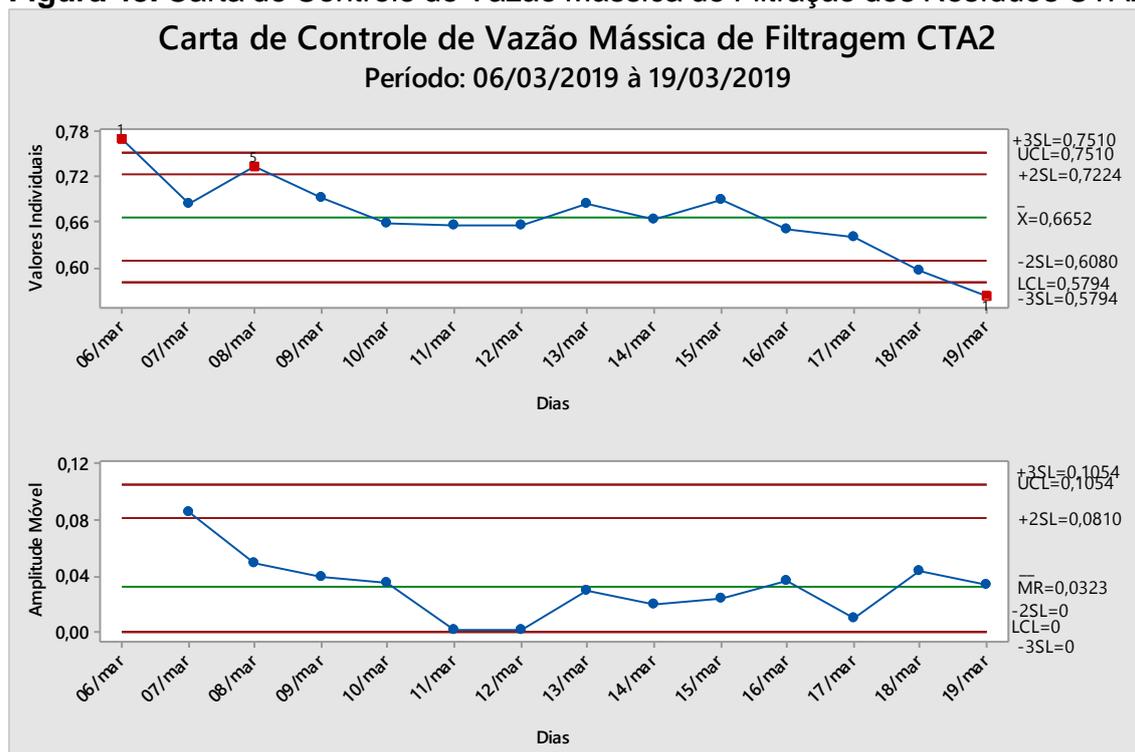
o comportamento dos depuradores instalados no processo. A Figura 47 representa a Carta de Controle para o indicador de Vazão Mássica de filtração para a CTA1 no período correspondido entre 6 de março a 19 de março de 2019. Nota-se o comportamento fora de controle estatístico, por apresentar apenas quatro coletas no período, nenhuma falha em teste, pois os dados não foram suficientes para uma análise mais criteriosa do seu comportamento.

Figura 47. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA1



Fonte: O Autor, 2019.

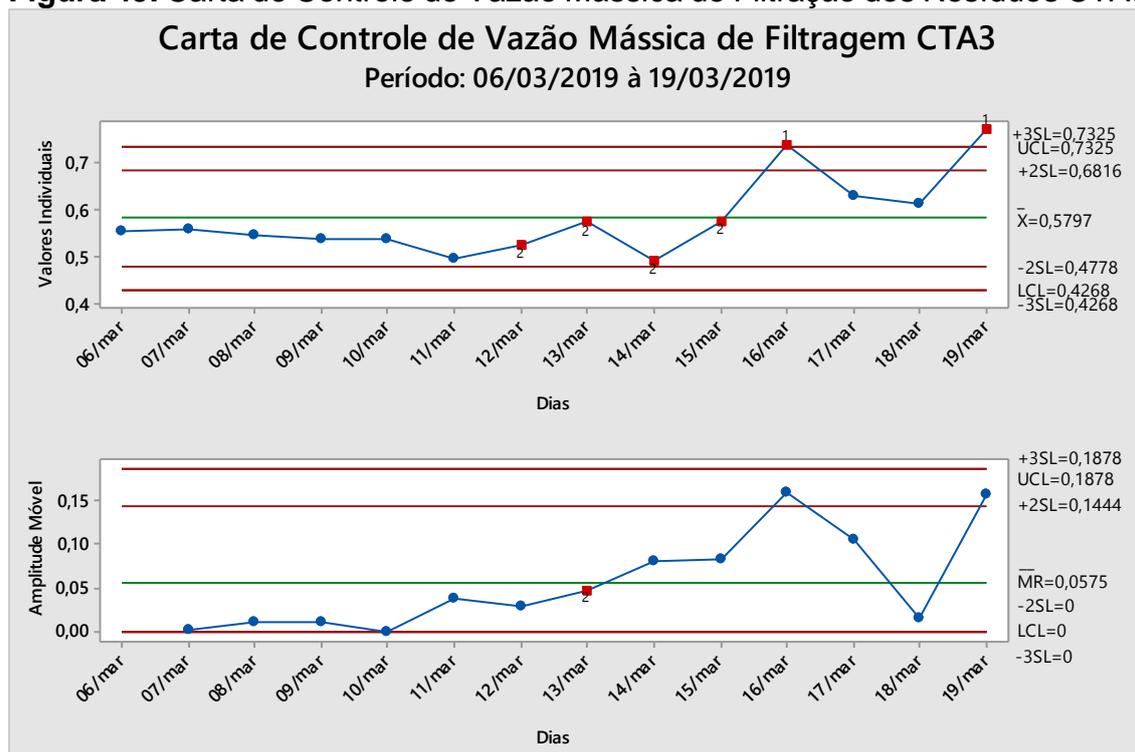
A Figura 48, demonstra o comportamento para o indicador de Vazão Mássica de filtração para a CTA2 no mesmo período para as outras centrais.

Figura 48. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA2

Fonte: O Autor, 2019.

Analisando os resultados encontrados para a vazão mássica da central 2, verificou-se que a estatística demonstrou falha no teste 1, que relaciona três sigma (3σ) da linha central, ou seja, um ponto superior e outro inferior ao limite de controle da média. Também relatou que o teste 5 teve falha, que demonstra dois pontos acima do dois sigma (2σ), ou seja, um ponto acima do limite de controle da média. Conclui-se que o sistema de depuração nessa central, apresenta tendências descendentes fora de controle, as quais não poderiam ocorrer em seu processo.

A Figura 49, apresenta o comportamento para o indicador de Vazão Mássica de filtragem para a CTA3 no mesmo período das outras centrais.

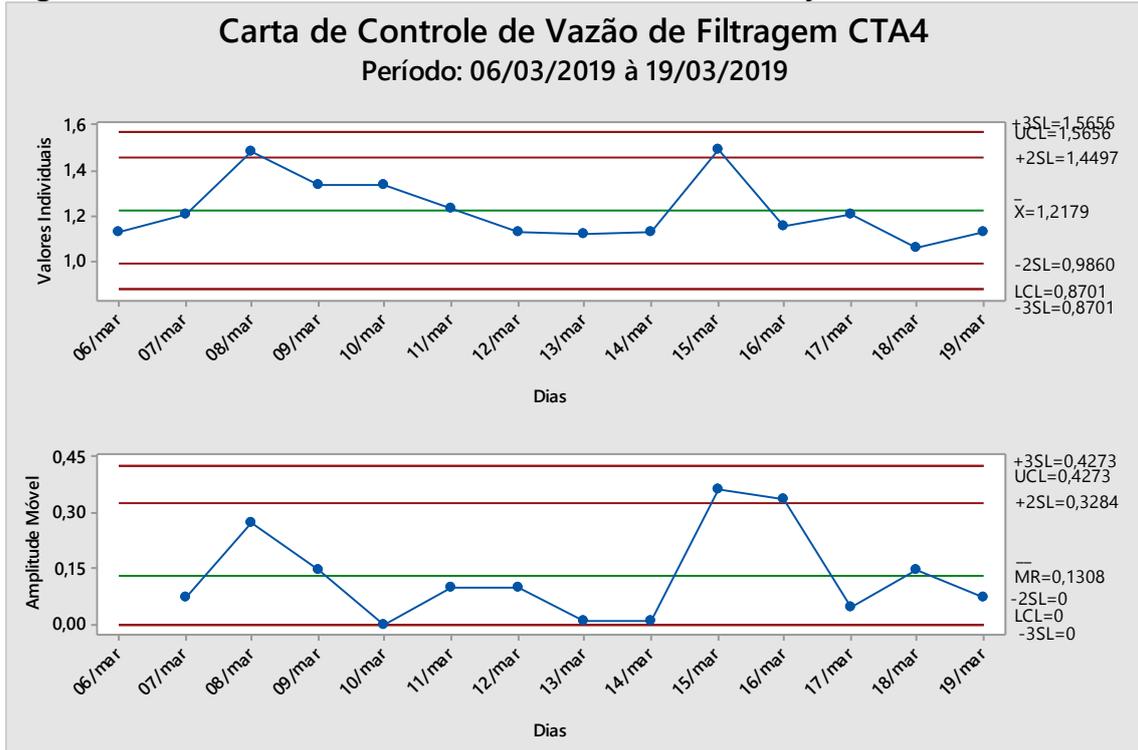
Figura 49. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA3

Fonte: O Autor, 2019.

Analisando os resultados encontrados para a vazão mássica da central 3, verificou-se que a estatística demonstrou falha no teste 1, que relaciona três sigma (3σ), ou seja, dois pontos acima do limite de controle da média, também relatou que o teste 2 teve falha, que relaciona dois sigma (2σ) pontos seguidos do mesmo lado da linha central da média. Conclui-se que o sistema de depuração nessa central apresenta tendências ascendentes fora de controle que não poderiam ocorrer em seu processo.

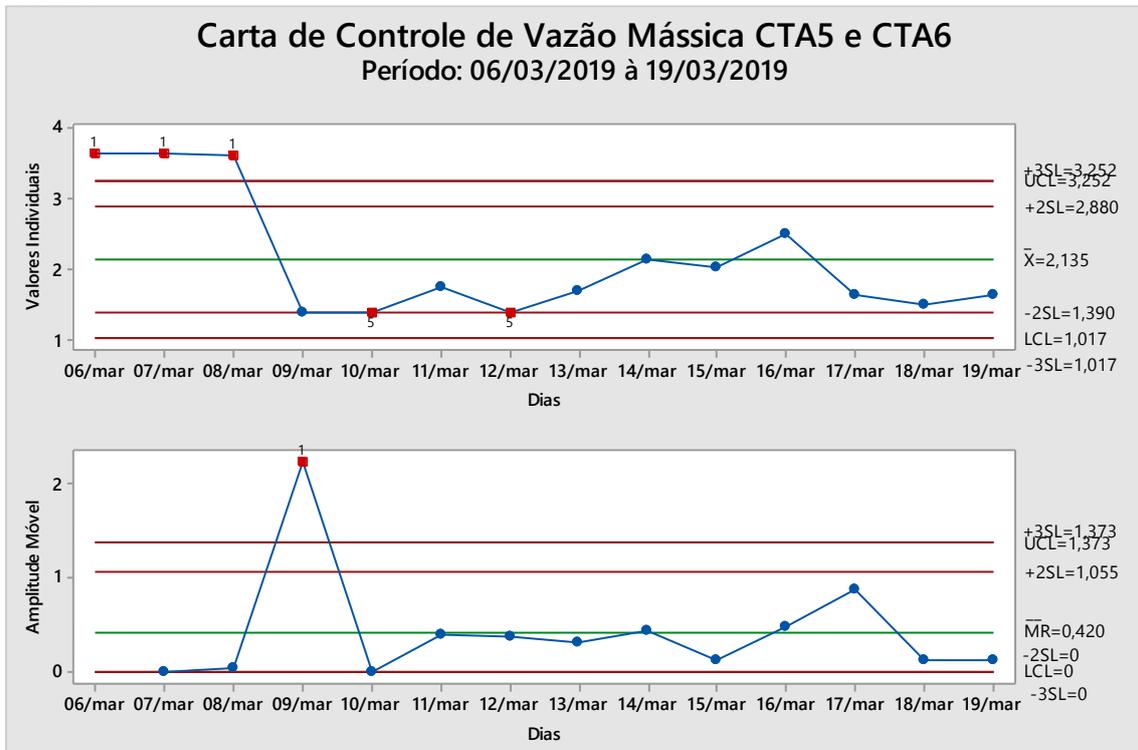
Para as centrais restantes, Central 4, Central 5 e Central 6, foram estabelecidos os mesmos critérios para o desenvolvimento das Cartas de Controle, representadas pelas Figura 50 e Figura 51, no mesmo período das outras centrais.

Figura 50. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA4



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 51. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA5 e CTA6



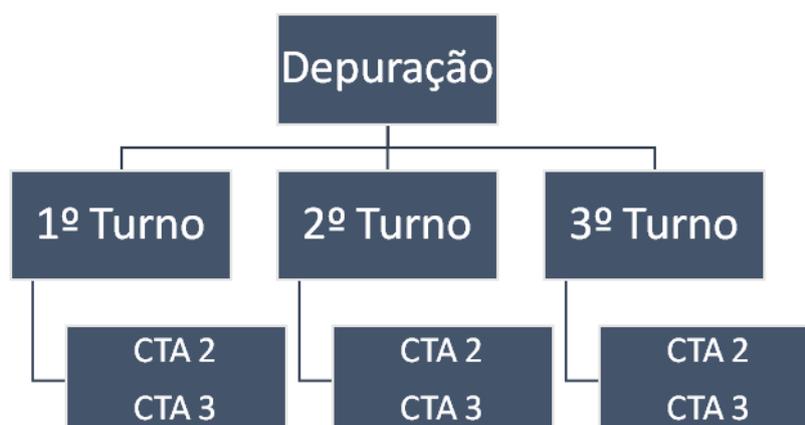
Fonte: O Autor, 2019.

As Centrais 4, 5 e 6 apresentaram falhas em testes estatísticos no indicador Vazão Mássica análogos ao indicador trabalhado anteriormente Área de Filtragem, com problemas detectados no processo de depuração, que serão melhorados ao decorrer da aplicação da técnica do DFLSS e da ferramenta Seis Sigma.

Com base em todos os argumentos pressupostos anteriormente e, no que foi coletado de resultados *in loco*, estabeleceu-se uma nova estratificação, para a nova coleta de dados e ações futuras a serem desenvolvidas. A “Central 2” e “Central 3” serão o foco do trabalho e desenvolvimento das melhorias, justifica-se, pois, apresentaram números de colaboradores com problemas respiratórios associados ao ambiente de trabalho significativos nos últimos anos, que foram trabalhados na etapa anterior do DEFINE. Visto o trabalho a partir desse ponto, ficará com uma maior atenção nessas centrais, os resultados encontrados servirão de modelo para os outros setores serem aplicados futuramente em outros trabalhos.

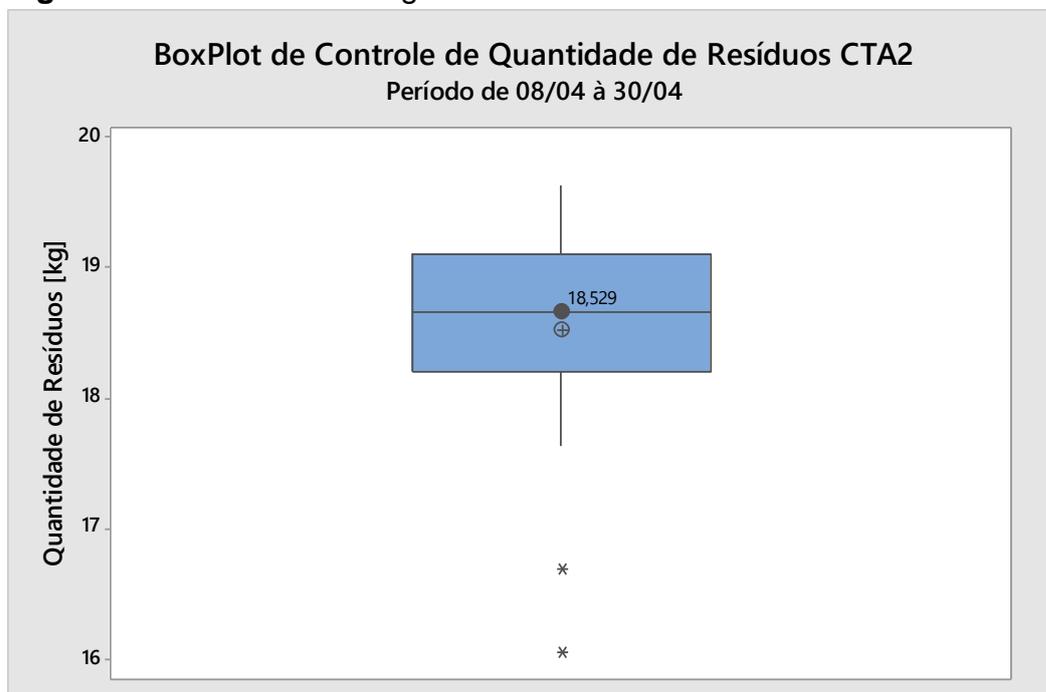
Após as análises realizadas na primeira estratificação, fora feita nova estratificação, levando em consideração os depuradores, que trabalham nos três turnos, chegando à conclusão de que apenas as centrais 2 e 3 apresentam esta característica. A Figura 52 demonstra a nova estratificação do sistema de depuração. Como resultado há uma melhor divisão das centrais de ar para o monitoramento dos indicadores.

Figura 52. Nova Estratificação do Sistema de Depuração



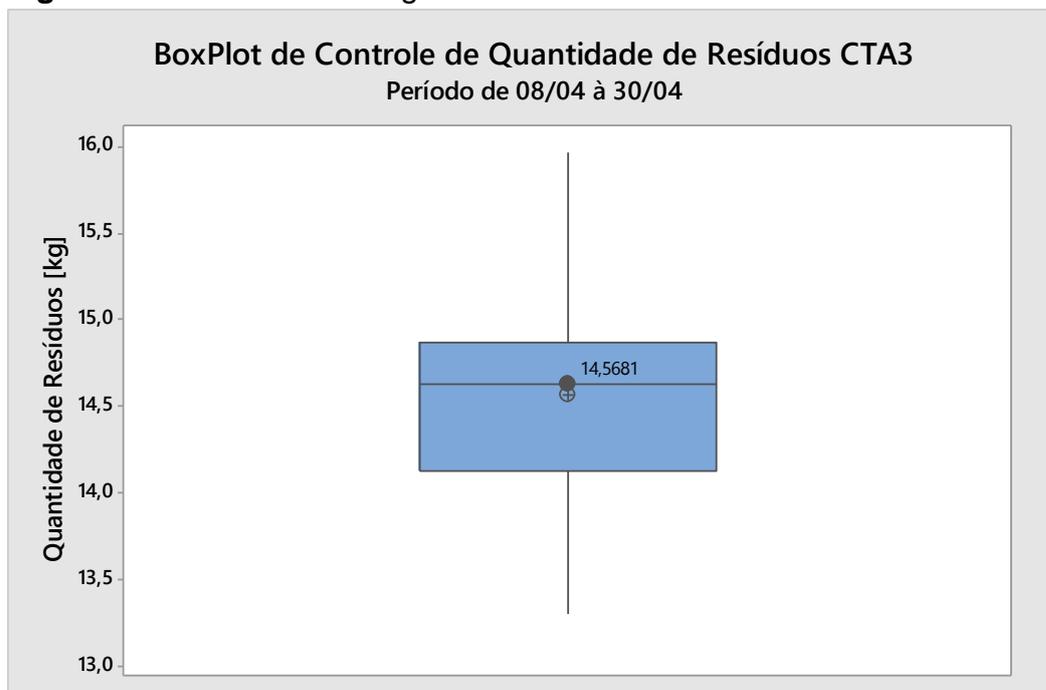
A Figura 53 e Figura 54, representam a análise de pesagens de resíduos na Central 2 e Central 3 no período de 08 de abril a 30 de abril do ano de 2019.

Figura 53. Análise de Pesagens de Resíduos da CTA2



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 54. Análise de Pesagens de Resíduos da CTA3



Fonte: O Autor, 2019.

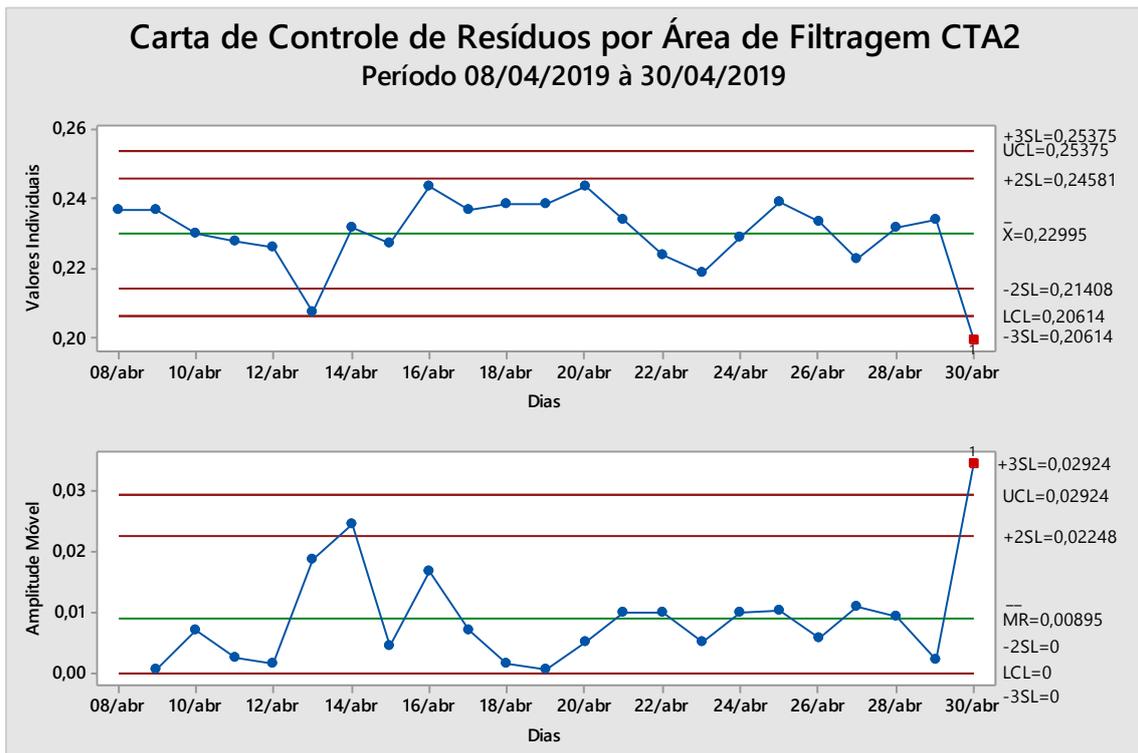
O resultado encontrado entre os meses de março e abril, revela o seguinte: no mês de março a CTA2 coletou uma média de resíduos de 15,9643 kg que naquele momento foi detectada a oportunidade de melhoria. No mês de abril, representado na Figura 48, uma média de 18,5290 kg, houve um aumento de 13,8415% na captação de particulados. Verifica-se que este valor de média está próximo do seu valor de mediana de 18,6670 kg, representado pelo círculo quadriculado no gráfico (ou segundo quartil). Tal resultado no momento não significa melhoria aplicada ao processo, mas representa a variabilidade da quantidade de resíduo coletado em períodos de tempos diferentes, sugerindo o descontrole estatístico do sistema.

Para a Central 3, entre os meses de março e abril, há os seguintes resultados; no mês de março a CTA3, coletou uma média de resíduos de 13,9119 kg e naquele momento foi detectada a oportunidade de melhoria. No mês de abril, representado na figura 49, há uma média de 14,5681 kg, um aumento de 4,5044% de melhoria. Verifica-se que este valor de média está próximo do seu valor de mediana de 14,6330 kg representado pelo círculo quadriculado no gráfico (ou segundo quartil). Tal resultado, no momento não significa melhoria aplicada ao processo, mas representa a variabilidade da quantidade de resíduo coletado em períodos de tempos diferentes, sugerindo o descontrole estatístico do sistema.

Os resultados encontrados para as coletas das centrais 1 e 2 (CTA1 e CTA2) para o mês de abril foram melhores em relação aos meses anteriores da coleta de dados. Isto se justifica pelo fato de que no mês de abril a matéria-prima teve um grau de qualidade melhor durante os dias de análises. Esses resultados foram validados pelo *Champion* da indústria do estudo de caso e validados pela equipe de trabalho.

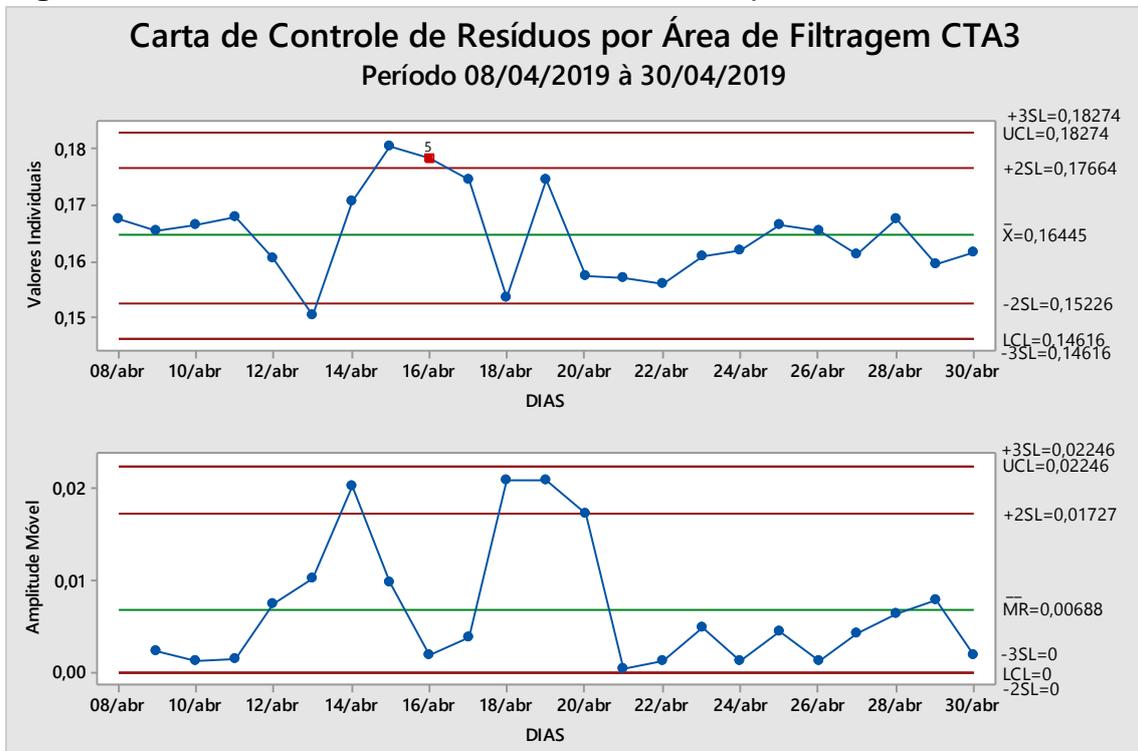
A Figura 55 e Figura 56, representam as cartas de controle de resíduos para o indicador de Capacidade por Área de Filtragem no período de 08 de abril a 30 de abril do ano de 2019.

Figura 55. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA2



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 56. Carta de Controle de Resíduos Filtrados por Área Total CTA3



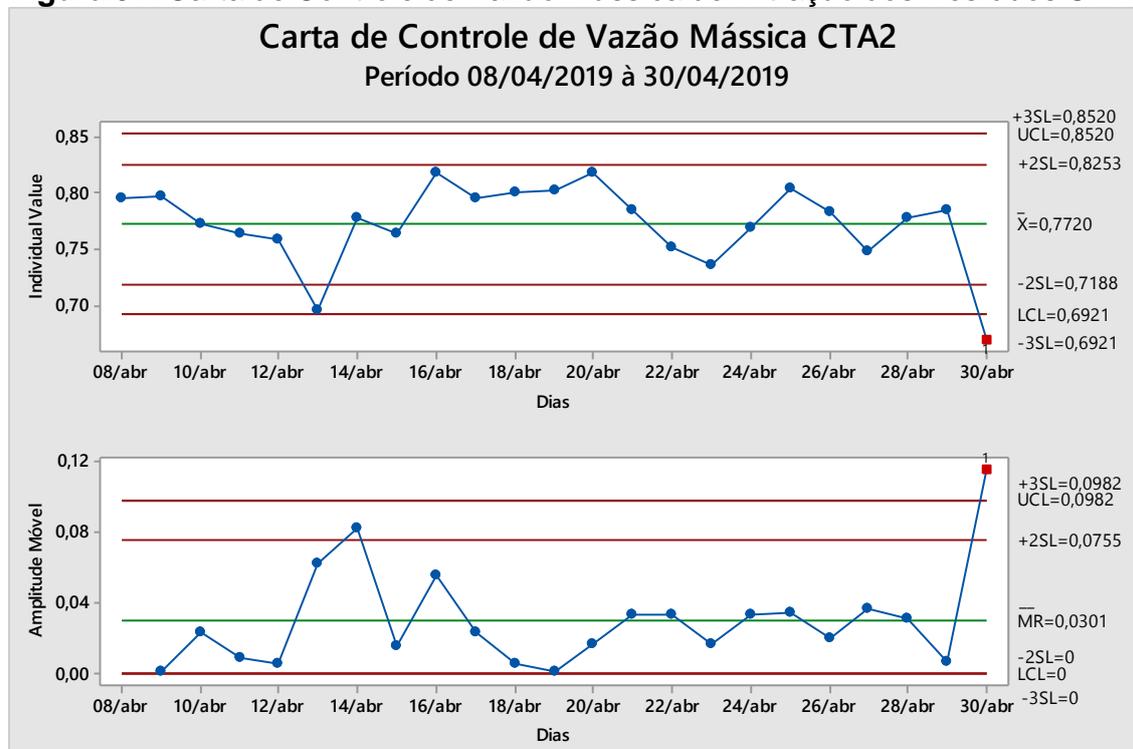
Fonte: O Autor, 2019.

Os resultados encontrados para a Central 02 antes da realização da segunda estratificação, apresentavam um comportamento estatístico, fora do padrão de controle de processo. Este fato está representado na Figura 55, com a apresentação de pontos tendenciosos ascendentes e descendentes na carta de controle, porém com um ponto positivo que apenas em um ponto ocorreu uma falha no teste 1, com três sigma (3σ) com um ponto inferior à linha central da média do processo. Este resultado oportuniza a aplicação de ações para melhoria em seu processo, estabilizando a amplitude móvel dos dados.

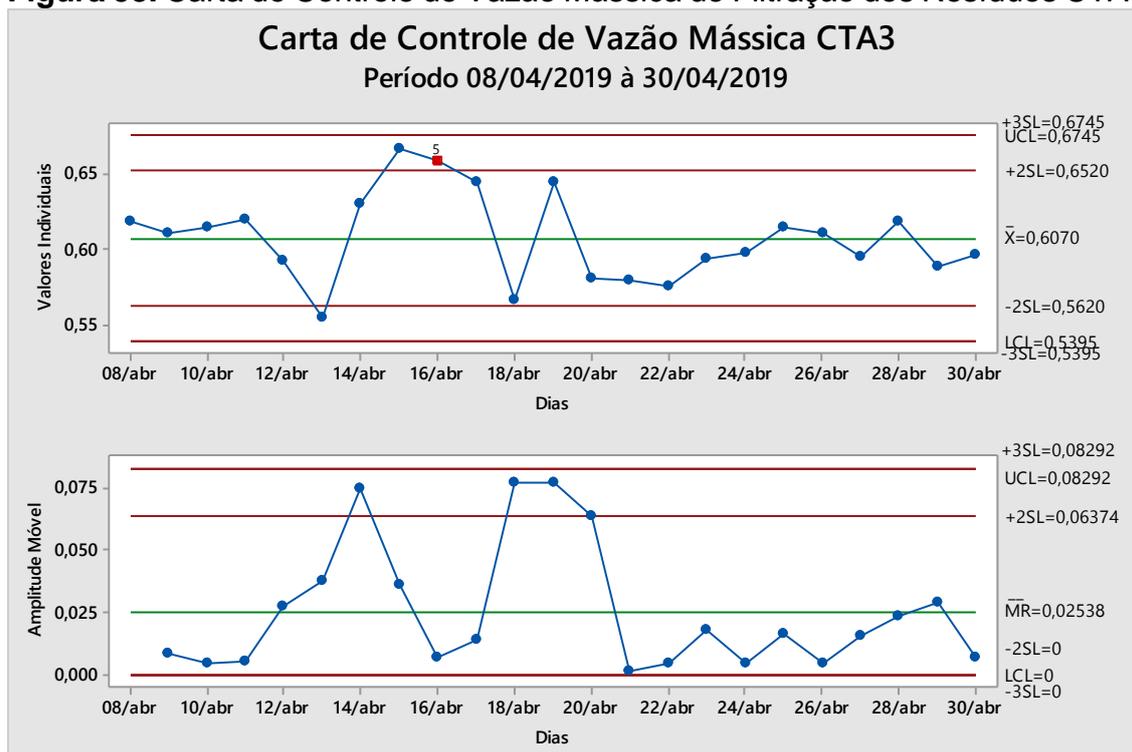
Na Figura 56, que representa a Central 3, há o comportamento estatístico com maiores problemas, os dados estatísticos falharam no teste 5, que analisa K+1 pontos maior que 2 desvios padrão da linha central da média, ou seja, dois sigma (2σ), visto que a mesma fará parte das ações de melhorias no processo de depuração.

A Figura 57 e a Figura 58 representam o comportamento estatístico para a Carta de Controle para o indicador de Vazão Mássica de filtração para a CTA2 no período de 08 de abril a 30 de abril do ano de 2019.

Figura 57. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA2



Fonte: O Autor, 2019.

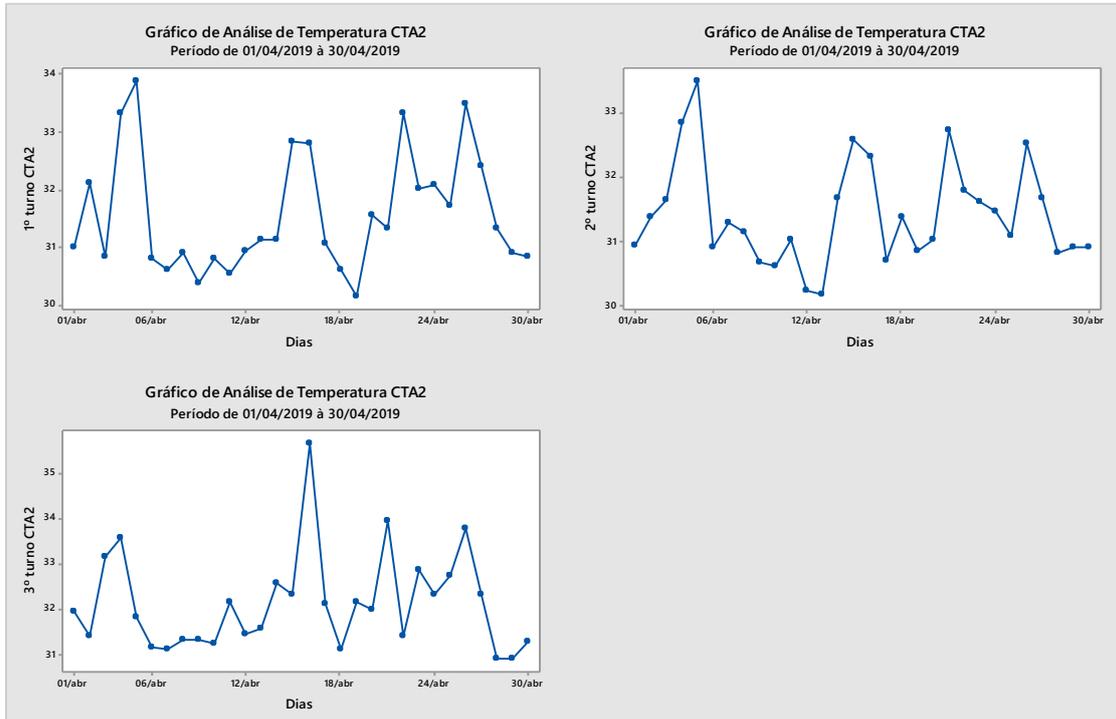
Figura 58. Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração dos Resíduos CTA3

Fonte: O Autor, 2019.

O resultado encontrado para a Central 2 indicou tendências crescentes e decrescentes em suas vazões mássicas e apenas o teste 1 com falha, o mesmo que se apresentou no indicador de Capacidade por Área de Filtragem, que o processo necessita de controle estatístico com aplicações de ações corretivas a serem desenvolvidas. A Central 3 é a que apresentou a maior variabilidade de processo, com controle estatístico fora necessitando de uma visão aprofundada em seu processo de depuração com aplicações das ações preconizadas na metodologia DMAIC a serem observadas nas etapas posteriores.

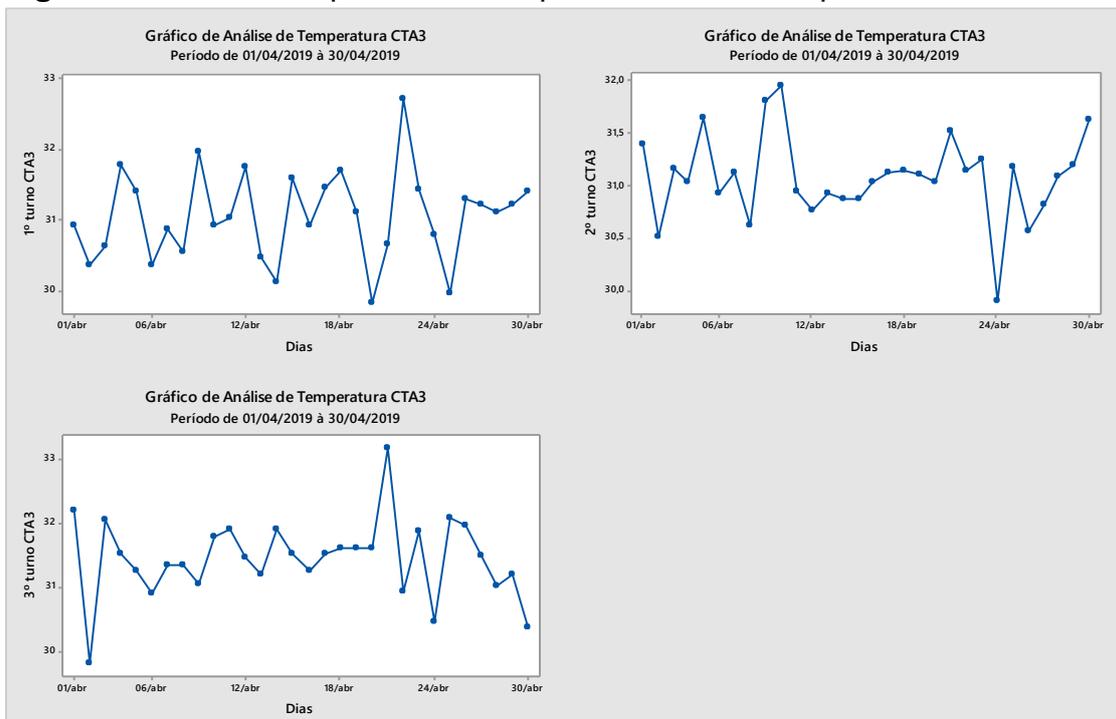
A Figura 59 e Figura 60 analisam o comportamento em forma de séries temporais, para o controle do Indicador Controle de Temperatura da Central 2 e da Central 3 no período de 01 de abril a 30 de abril de 2019.

Figura 59. Séries Temporais de Comportamento de Temperatura CTA2



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 60. Séries Temporais de Comportamento de Temperatura CTA3



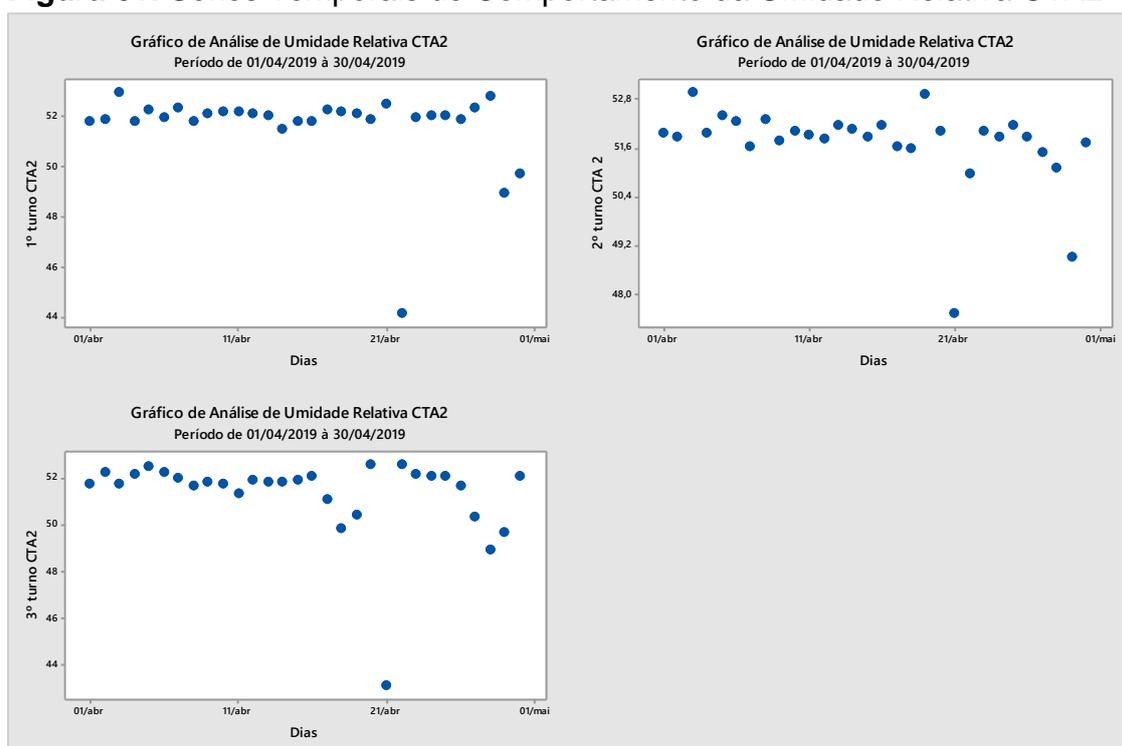
Fonte: O Autor, 2019.

Como resultado, foram gerados dois gráficos para o comportamento da Temperatura na Centrais 2 e na Central 3. Esse controle só existe nessas

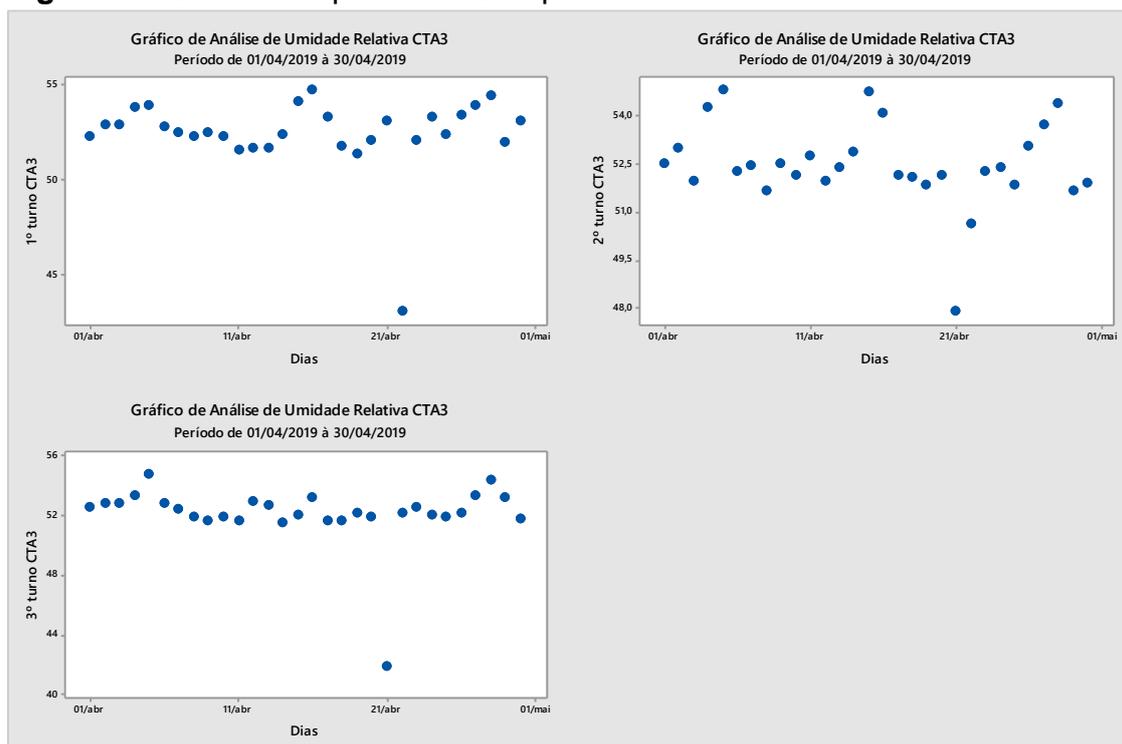
centrais através do CLP interligado ao Supervisório no ambiente industrial, justifica-se apenas nessas centrais devido ao principal processo produtivo estar localizado no ambiente onde elas estão instaladas e em funcionamento. Observou-se que esse indicador está sob controle a atende às necessidades produtivas e do processo de depuração.

A Figura 61 e a Figura 62 ilustram as séries temporais de comportamento do controle de Umidade Relativa da Central 2 e da Central 3 por meio do CLP interligado ao Supervisório no ambiente industrial.

Figura 61. Séries Temporais de Comportamento da Umidade Relativa CTA2



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 62. Séries Temporais de Comportamento da Umidade Relativa CTA3

Fonte: O Autor, 2019.

Os gráficos mostram os resultados da verificação dos indicadores de temperatura e umidade relativa são exclusivos das centrais em estudo nessa etapa da pesquisa e, estão ajustados de acordo com o processo produtivo. Verifica-se que a temperatura média de controle dos Filatórios é de 31,4408°C com base nos três turnos e de umidade relativa de 51,9296% para o mês de abril de 2019. Nota-se que apresenta também *outliers*, ou seja, pontos em discrepância com o restante, foi escolhido deixar estes, pois retratam de maneira fiel o comportamento da umidade relativa nas centrais 2 e 3.

4.3.2. Cálculo do Indicador ECOEFICIÊNCIA

O índice correlaciona nos processos produtivos, que geram valor com relação ao *Lead Time*, no processo, ou seja, um progresso em ecoeficiência será alcançado ao proporcionar um valor maior por unidade de impacto ambiental ou unidade de recurso consumido. A Tabela 16 apresenta a relação de Ecoeficiência histórica para as centrais CTA 2 e CTA 3 entre os meses de março e abril obtendo individualmente os valores e uma média global.

Tabela 16. Relação de Ecoeficiência Histórica para as Centrais CTA2 e CTA3

2019		
Mês	Ecoeficiência CTA2	Ecoeficiência CTA3
Março	0,6652	0,5797
Abril	0,7720	0,6070
Média	0,7186	0,5933
Média global =	0,6559	

Fonte: O Autor, 2019.

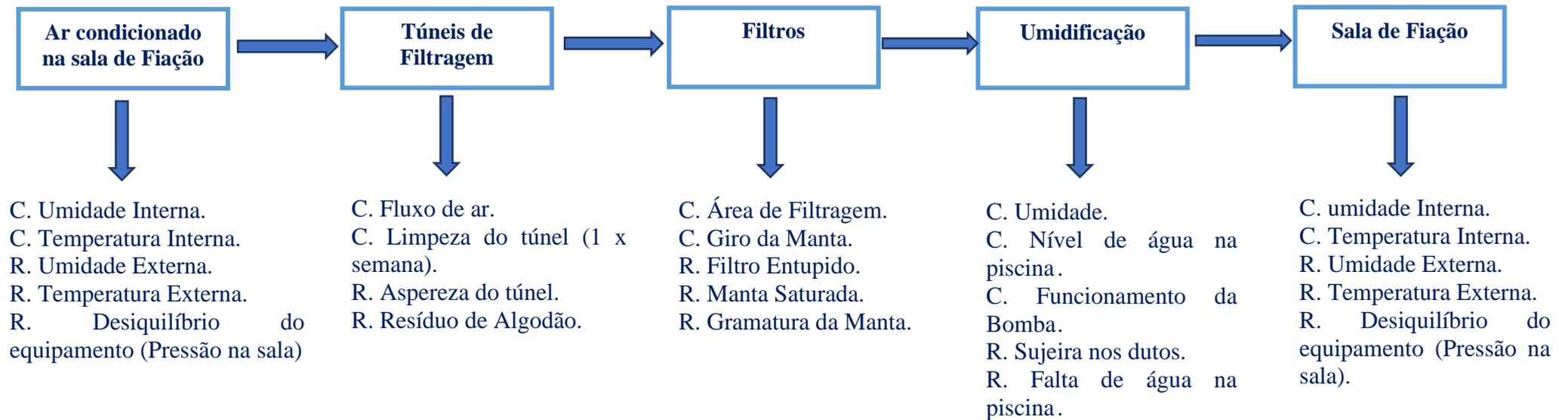
Houve uma melhora nesse índice ao longo de dois meses, devido ao mês de abril ter tido uma quantidade de coletas de dados mais significativa que o mês anterior e após as estratificações realizadas fornecerem resultados mais apurados do comportamento em estudo e o processo produtivo na empresa sofrer sazonalidade de matéria-prima, interferindo no processo produtivo; ou seja, a quantidade de particulados em suspensão sofreu variação devido a mudanças na matéria-prima com fibras mais curtas resultando em maiores quantidades de particulados, logo houve uma maior quantidade de retidos pelo sistema de filtragem.

4.4. RESULTADOS DA ETAPA 2 – 3) ANALISAR (ANALYZE): Análise e proposição de ações corretivas em âmbito técnico para a problemática

4.4.1. Descrição das causas potenciais que influenciam no problema

Na etapa de análise mais aprofundada do processo de depuração e com base no diagrama SIPOC desenvolvido na etapa do DEFINE, realizou-se a descrição detalhada do processo de depuração instalado. Esta etapa foi realizada no mês de agosto de 2019 junto à empresa e à equipe de trabalho. A Figura 63 apresenta o descritivo técnico do processo de depuração. Vale ressaltar que, nessa representação constam os elementos do processo de depuração e para cada etapa os parâmetros, que são denominados de controle pela letra “C”, que são as variáveis que existem controle pelo CLP e Supervisório e os parâmetros que são denominados de ruídos pela letra “R”, os quais são as variáveis que não existe controle pelo CLP e Supervisório.

Figura 63. Descrição detalhada do processo de Depuração.

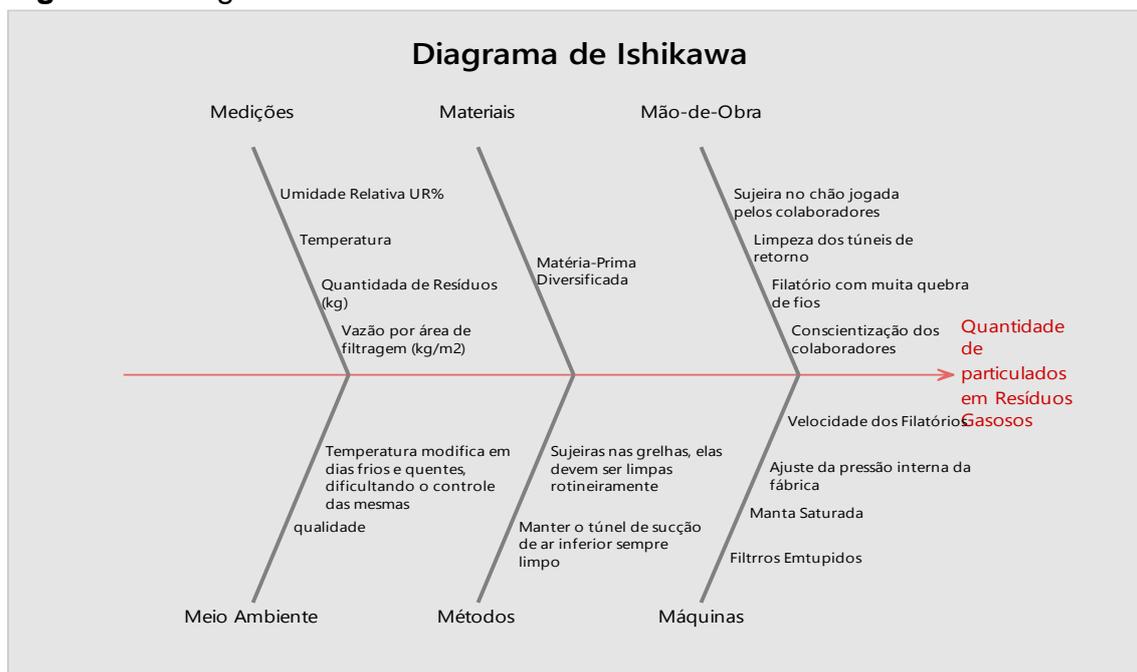


Fonte: O Autor, 2019.

4.4.2. Comprovação das causas priorizadas

Para o estabelecimento das metas específicas, foram realizadas a aplicação da filosofia *Lean Manufacturing* aliada às ferramentas do Seis Sigma com a aplicação de um *Brainstorming* realizado nos três turnos da empresa. O intuito é analisar os pontos fortes do processo, ou seja, como os colaboradores podem e devem ser levados em consideração no processo de depuração. Esses dados foram tabulados e convertidos em um Diagrama de Ishikawa com uma Matriz de Priorização. Com base nesse argumento, foram estipuladas as metas específicas com auxílio dos colaboradores para o desenvolvimento e aplicação de ferramentas da qualidade, que possam comprovar na prática o alcance da meta estipulado no início desse trabalho. A Figura 64 apresenta o diagrama de Ishikawa, no formato de “espinha de peixe” resultado do *Brainstorming* realizado junto à equipe de trabalho, gerando um diagrama de causa e efeito.

Figura 64. Diagrama de Ishikawa.



Fonte: O Autor, 2019.

A Tabela 17 representa uma matriz de priorização, a qual tem a função de estabelecer uma relação ponderada de critérios com pesos ponderados, que são multiplicados entre si, gerando uma pontuação. Com base nessa pontuação, estabeleceram-se os seis pontos em negrito para o ataque de proposição das ações corretivas no processo.

Tabela 17. Matriz de Priorização.

Critérios	Forte Contribuição para o alcance das metas.	Disponibilidade de Dados.	Custos de implantação	Retorno eficaz.	Desperdício de matéria prima.	Potencial para criar novo problemas.	Treinamento e capacitação de colaboradores.	Total	Prioridade
Pesos	5	3	1	5	2	5	5	Total	Prioridade
Matéria-Prima com qualidade diversificada.	4	2	0	4	3	4	0	72	11°
Manter túneis de sucção de ar inferior sempre limpos.	3	2	5	3	1	0	2	88	3°
Sujeiras nas grelhas.	4	0	0	4	1	0	5	88	4°
Temperatura modifica em dias frios e quentes.	4	5	0	2	2	4	1	74	
Filtros entupidos.	5	0	0	4	0	3	1	86	5°
Manta saturada.	5	0	5	5	0	3	2	93	2°
Ajuste de pressão interna.	4	2	5	5	1	1	1	68	13°
Velocidade dos Filatórios.	2	1	1	3	5	5	5	74	10°
Indicador de Umidade Relativa UR%.	5	5	1	5	5	4	1	69	12°
Indicador de Temperatura.	4	3	1	3	1	1	1	37	15°
Quantidade de resíduo (kg).	5	5	1	3	1	3	1	78	9°
Vazão por área de filtração (kg/m ²).	5	4	1	5	1	3	1	85	7°
Sujeira no chão jogada pelos colaboradores.	5	1	2	5	1	4	5	102	1°
Limpeza dos túneis de retorno.	3	2	5	3	1	0	2	53	14°
Filatório com muita quebra de fios.	2	1	1	3	5	5	5	79	8°
Ajuste e conscientização dos colaboradores.	5	2	2	4	4	0	5	86	6°

Fonte: O Autor, 2019.

4.5. RESULTADOS DA ETAPA 2 – 4) MELHORAR (*IMPROVE*): Aplicação e monitoramento dos indicadores e avaliar as vantagens e desvantagens das tecnologias em uso

4.5.1. Descrição das soluções encontradas para ações corretivas

Nessa etapa, após a realização do Brainstorming na etapa *ANALYZE*, aconteceu uma reunião de alinhamento com a equipe do trabalho, promovendo uma discussão e apontando as soluções possíveis de aplicação com base no diagrama de Ishikawa e na matriz de priorização.

O Quadro 5 apresenta a descrição das priorizações com base nas causas fundamentais originadas da matriz de priorização. Resultado das quatro metas específicas de acordo com o *Business Case* apresentado à *Empresa X*, consoante com os objetivos específicos desse trabalho. Foram escolhidas seis causas potenciais a serem trabalhadas, cujas se encaixam em ações comportamentais e de elementos de máquina. As comportamentais foram realizadas nos três turnos de trabalho para a Central de Ar 2 e Central de Ar 3 respectivamente, pois se trata do foco desse trabalho. Com reuniões com as equipes de trabalho para cada setor, o pesquisador e sua equipe ajustaram normas do Procedimento Operacional Padrão – POP¹², tendo grande importância e objetivo específico em garantir, mediante uma padronização, os resultados esperados para cada tarefa executada, ou seja, trata de um roteiro padronizado para realizar cada atividade do plano de ações formulado. Os três turnos ficaram responsabilizados pelo POP de ação do controle de melhorias comportamental do sistema de filtração, esta atividade foi acompanhada pelo pesquisador nos três turnos existentes na *Empresa X*. Com relação ao elemento de máquina, foi trabalhado junto ao setor de manutenção da empresa, o acompanhamento dos equipamentos das mantas e dos filtros entupidos, com a análise de limpeza e substituição quando necessário. Esta etapa não gerou custos para a empresa, visto que a mesma realizada essa rotina, porém com um intervalo de tempo anual e agora será controlado de maneira mensal.

¹² POP – Ferramenta de registro para procedimento operacional em empresas.

Quadro 5. Descrição das Priorizações.

Identificar e caracterizar fontes geradoras de resíduos.	Descrever as causas e consequências de problemas respiratórios de colaboradores.	Validar procedimento para a medição do índice no equipamento de tecnologia utilizado na indústria.	Prospectar tecnologias de tratamento e identificação de propostas de melhoria.	Causas Fundamentais	Soluções escolhidas
X				Sujeira no chão jogada pelos colaboradores	Conscientização dos colaboradores a respeito do não jogar resíduos no chão; Medir quantos está sendo jogado de resíduo nas grelhas.
X	X	X		Manta Saturada	Substituição das mantas da central de ar 2 e 3 periodicamente; Fazer limpeza mensal nas mantas com ar comprimido.
X			X	Manter túneis de sucção de ar inferior sempre limpos	Fazer limpeza nos tuneis de retorno do Filatório a cada 4 dias.
X		X	X	Sujeiras nas Grelhas	Fazer orientação com os operadores para não jogar sujeira na grelha e estar desobstruindo a mesma caso esteja com resíduo.
X	X	X		Filtros Entupidos	Fazer verificação 2 vezes no turno e verificar os filtros com relação a estarem entupidos ou não.
X		X		Ajuste e conscientização dos colaboradores	Criar um ciclo contínuo de treinamento para que os operadores novatos estejam sempre informados a respeito do descarte do resíduo e da limpeza da grelha.

Fonte: O Autor, 2019

4.5.2. Descrição dos riscos de implementação das ações corretivas

Após o levantamento dos principais focos de trabalho e ajuste das ações corretivas, foi elaborado o plano de riscos de aplicações das mesmas. O Quadro 6 abaixo mostra os levantamentos de riscos e impactos de implementação das ações corretivas. Isso foi elaborado com base nas causas fundamentais, suas soluções escolhidas, os riscos de implementação, a probabilidade de impacto, o fator de impacto e classificação de risco.

Como resultado encontrado, observou-se que para todas as soluções escolhidas e a serem implantadas, o fator de risco está entre muito e baixo e médio, indicando uma posição favorável às implementações, com probabilidades e riscos aceitáveis para o processo de depuração.

Quadro 6. Levantamentos de riscos e impactos de implementação.

Causas Fundamentais	Soluções escolhidas	Riscos de Implementação	Probabilidade	Impacto	Risco
Sujeira no chão jogada pelos colaboradores	Conscientização dos colaboradores a respeito de não jogar resíduos no chão;	Não surtir o efeito esperado;	25%	7	Baixo
	Medir quanto está sendo jogado de resíduo nas grelhas.	Risco de não ser coletado corretamente.	5%	2	Muito baixo
Manta Saturada	Substituição das mantas da central de ar 2 e 3 periodicamente;	Risco baixo não ser possível a compra da manta;	15%	6	Muito baixo
	Fazer limpeza mensal nas mantas com ar comprimido.	Risco de não ser feita a limpeza;	10%	5	Médio
Manter túneis de sucção de ar inferior sempre limpos	Fazer limpeza nos túneis de retorno do Filatório a cada 4 dias.	Risco médio devido às rotinas estarem aumentado.	30%	5	Baixo
Sujeiras nas Grelhas	Fazer orientação com os operadores para não jogar sujeira na grelha e estar desobstruindo a mesma, caso esteja com resíduo.	Não surtir o efeito esperado	25%	5	Médio
Filtros Entupidos	Fazer verificação 2 vezes no turno e verificar os filtros com relação a estarem entupidos ou não.	Risco médio devido as rotinas estarem aumentado.	30%	6	Médio
Ajuste e conscientização dos colaboradores	Criar um ciclo contínuo de treinamento para que os operadores novatos estejam sempre informados a respeito do descarte do resíduo e da limpeza da grelha.	Risco médio devido à rotatividade que temos.	30%	7	Médio

Fonte: O Autor, 2019.

4.5.3. Plano de ação 5W2H

Com base nas ações corretivas de melhorias escolhidas, foi elaborado o Quadro 7 denominado plano de ação 5W2H, que trata de um *checklist* de determinadas atividades, que precisam ser desenvolvidas com o máximo de clareza possível por parte dos colaboradores da empresa. Sua funcionalidade trata de um mapeamento das atividades, em que ficará estabelecido o que será feito, quem serão os responsáveis, em qual período, em qual área da empresa e todos os motivos pelos quais esta atividade deve ser feita. Esta etapa do trabalho foi realizada no dia 02 do mês de setembro de 2019, visto que as ações começaram a ser rodadas na data do dia 09 de setembro de 2019, estabelecendo uma meta de controle dessas ações durante um período de 60 dias para coleta de dados e comprovação das causas e ações corretivas implementadas.

Nas datas dos dias 09 e 11 de setembro de 2019, foram realizados os treinamentos de conscientização dos colaboradores, corroborando com o plano de ação 5W2H. As reuniões fazem parte da aplicação de um novo POP para os colaboradores, visando auxiliar o projeto, com as seguintes descrições estabelecidas:

- Reorientação sobre o uso adequado da sacola de resíduos e desobstrução das grelhas de aspiração das centrais de ar 2 e 3;
- Segundo o item 3.1.3 (Padrão aplicado no manual da empresa), sempre após realizar os procedimentos de troca de maçarocas, colocar o pavio no avental e, em seguida, pendure o tubulete limpo no trilho, quando a sacolinha estiver cheia, jogar nos locais destinados os resíduos e não nas grelhas ou no piso da indústria.

Todas essas orientações foram acompanhadas nos três turnos pelo pesquisador e foi gerado um POP e ata de reunião que foi registrada e arquivada na empresa de estudo. E como resultado para essa etapa do estudo, todas as ações tiveram andamento contínuo para o melhoramento do processo de depuração.

Quadro 7. Plano de Ação 5W2H.

Solução a ser implementada	5W2H							
	Atividade	Who	When	Why	Where	How	How Much	Status
Conscientização dos colaboradores a respeito do não jogar resíduos no chão	Realizar treinamento teórico-prático durante os turnos sobre o uso adequado das ferramentas de trabalho (sacola de resíduos).	Instrutores	09/set a 31/out	Aplicação de treinamento padrão.	Instrutores	Planejamento pronto	Nada	Andamento
Medir quantos está sendo jogado de resíduo nas grelhas.	Planejar como será feito levantamento da sujeira por turno.	Colaborador	9/set a 31/out	Elaboração de método de análise.	Manutenção	Elaborando planejamento	Nada	Feito
	Realizar coleta de onde está sendo jogado sujeira.	Manutenção	10/set a 31/out	Para coleta dos dados.	tuneis cta2 e cta3	Entrando nos túneis no começo e no final de cada turno e passando essa informação para supervisão.	45horas/mês	Andamento
Substituição das mantas da central de ar 2 e 3 periodicamente.	Verificar estado das mantas de retorno da Central 2 e Central 3.	Colaborador	20/set a 31/out	Ver condição das mantas de retorno.	Manutenção	Analisando os filtros e vendo condições de saturação das mantas	Nada	Andamento
	Substituição das mantas da Central 2 e Central 3	Manutenção	31/out	Melhorar a condição do ar na sala de Filatório.	Filtros da Central 2 e Central 3.	Retirando as mantas velhas e colocando mantas novas	Custo das mantas	Andamento

Continuação Quadro 7.

Fazer limpeza mensal nas mantas com ar comprimido.	Criação de método para limpeza com ar comprimido das mantas	Manutenção	20/set a 31/out	Melhorar a condição das mantas de retorno.	Filtros da Central 2 e Central 3.	Fazer uma limpeza de teste e analisar melhor método	Nada	Andamento
	Realizar limpeza.	Colaborador	30/set a 31/out	Melhorar a condição de partículas no ar na sala de Filatório.	Filtros da Central 2 e Central 3.	Realizar limpeza periódica nos filtros da Central 2 e Central 3, mensalmente.	8 horas/mês	Andamento
Fazer limpeza nos túneis de retorno do Filatório a cada 4 dias.	Fazer limpeza dos túneis da Central 2 e Central 3 no 1° e no 5° dia de trabalho do mecânico responsável	Mecânico	11/set a 31/out	Melhorar a condição do ar na sala de Filatório.	Túneis da Central 2 e Central 3.	Realizando limpeza dos túneis removendo os excessos de algodão no chão e nas paredes	12 horas/mês	Andamento
Fazer verificação 2 vezes no turno e verificar os filtros com relação a estarem entupidos ou não.	Verificação no início e no meio do turno para verificar a bocas de sucção se estão entupidadas	Mecânico	16/set a 31/out	Melhorar a condição do ar na sala de Filatório.	Filtros da Central 2 e Central 3.	Entrando nas salas de filtro no início e no meio do turno e verificando se tem bocas de aspiração entupidadas	90 horas/mês	Andamento

Fonte: O Autor, 2019.

4.5.4. Monitoramento dos indicadores no estado atual

Para essa etapa, foi aplicado o novo POP e orientação aos colaboradores sobre as normas de coleta e destino correto dos resíduos gerados no processo industrial em destaque no Filatório, pois nessa área/setor da empresa, se encontram as Centrais de ar 2 e 3.

Em primeiro momento, foram registradas em reunião as seguintes advertências de âmbito comportamental para os colaboradores:

- Não é permitido limpar o pavio dos tubos na grelha da central de ar, pois o acúmulo de material nos túneis gera risco de incêndio;
- A sujeira nos túneis impede a passagem de ar, o que prejudica as trocas de ar na sala, diminuindo a eficiência dos filtros, deixando a sala de fiação (Filatório) com uma maior concentração de particulados suspensos no ar;
- O operador deve controlar visualmente se as grelhas não estão obstruídas e, caso estiverem, deve utilizar a vassoura localizada nas máquinas 11 e 12 do Filatório, para varrer o corredor em que está trabalhando, visando manter a aspiração adequada do sistema de filtração da sala;
- A varredura dos resíduos deve ser destinada corretamente para o recipiente de resíduo cesto alocado no piso do Filatório.

Todas essas orientações foram estabelecidas como padrão de checagem dos colaboradores, visto a necessidade de otimização e controle dos particulados na sala dos Filatórios, aliado ao projeto desenvolvido na empresa. Para o estado atual, geraram-se as imagens que seguem sobre as novas normas do POP para o controle de destinação dos resíduos gerados. A Figura 65 ilustra a sacola para resíduos e cesto de resíduos, um novo padrão de forma correta da sacola e cesto de destinação de resíduos gerados no processo fabril têxtil. Os colaboradores recolhem os resíduos e os destinam para os recipientes de coleta adequados.

Figura 65. Sacola para resíduos e cesto de resíduos.



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 66 está representando o corredor das máquinas dos Filatórios, nota-se ao chão entradas de sucção de particulados, conhecidos como grelhas de sucção, as quais são responsáveis por retirar as partículas pesadas em suspensão e redirecionar para os túneis subterrâneos e por fim para os filtros rotativos.

Figura 66. Corredor do Filatório.



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 67 apresenta as grelhas com acúmulo de particulado de algodão. O resultado apresenta a visualização das grelhas com concentração de partículas de algodão em grande quantidade, as quais se aglomeram nas grelas provocando acúmulo e obstrução.

Figura 67. Grelhas com acúmulo de particulado de algodão.



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 68 ilustra a grelha exposta com aglomerado de algodão sem a proteção de sua grade. Fica visível o acúmulo de partículas de fibras de algodão.

Figura 68. Grelha exposta com aglomerado de algodão.



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 69 ilustra a tampa de entrada principal de verificação dos túneis de sucção, que são interligados subterraneamente e terminam no equipamento de filtragem.

Figura 69. Tampa de entrada de verificação dos túneis de sucção.



Fonte: O Autor, 2019.

Verificou-se no resultado que os túneis de sucção têm a finalidade de arraste do ar presente na sala dos Filatórios, visto essa característica, e analisando visualmente, os túneis são de material concreto, apresentando aspereza e facilitando o acúmulo nas paredes dos túneis, fator de desvantagem que prejudica o sistema de filtração. Sua limpeza no estado atual se baseia em uma vez por semana um colaborador passar o jato de ar comprimido nesses túneis forçando que o material acumulado se arraste para o filtro. Assim, gera mais uma desvantagem, pois pode causar o entupimento do filtro e saturação da manta.

A Figura 70 apresenta o acúmulo de partículas de algodão nos equipamentos industriais, resultando em aglomerados, que ficam mais pesados, e ao caírem ao chão se acumulam nas grelas, provocando entupimento e diminuindo a eficiência da troca de ar, ou seja, o sistema de filtração é prejudicado.

Figura 70. Acúmulo de partículas de algodão nos equipamentos industriais



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 71 apresenta túneis de sucção com resíduos. O resultado é a visualização subterrânea de direcionamento da sucção e retenção do ar com a presença dos particulados em suspensão. As imagens que se seguem mostram o estado atual com a presença de “zonas de acúmulo”, que são aglomerados de fibras de algodão. Esses resíduos são gerados por fatores de descuido dos colaboradores e inerentes ao próprio processo produtivo. Nota-se que esse acúmulo é desvantajoso para o processo de depuração, pois grande parte desse material fica estacionado nos túneis, tendo a necessidade de um colaborador retê-los e destinar a um container externo que é preenchido com os resíduos sólidos gerados dos sacos de pesagem dos filtros e mais materiais gerados na empresa, que é destinado a outra empresa que realiza a coleta e faz o devido destino final.

Figura 71. Túneis de sucção com resíduos.



Fonte: O Autor, 2019.

4.5.5. Descrição da implementação

No período correspondente entre 09 de setembro a 31 de outubro de 2019, foram implantadas ações corretivas, gerando resultados comprobatórios que proporcionaram melhorias ao processo de depuração em âmbito técnico e comportamental. O Quadro 8 apresenta a descrição das implementações. Os resultados corroboram com as causas fundamentais estabelecidas e as suas respectivas soluções implantadas com o seu *status* de andamento.

Quadro 8. Descrição das Implementações

Causas Fundamentais	Soluções escolhidas	Soluções Implantadas	Resultados da implementação	Status
Sujeira no chão jogada pelos colaboradores	Conscientização dos colaboradores a respeito de não jogar resíduos no chão;	Reuniões de treinamento a cada duas semanas com os colaboradores e supervisores para avisos de sujeira ao chão.	Maior limpeza no ambiente dos Filatórios, com melhora no ar respirável.	Implantado.
	Medir quanto está sendo jogado de resíduo nas grelhas.	Aferição da quantidade de resíduos ao chão coletada pelo setor de limpeza.	Menor quantidade de resíduos coletados pelo setor de limpeza do piso.	Implantado.
Manta Saturada	Substituição das mantas da central de ar 2 e 3 periodicamente;	Checagem da condição das mantas da central 2 e 3 duas vezes na semana (Terça-feira e sexta-feira), ao final do terceiro turno	Mantas mais ajustadas ao processo sem saturação devido à aglomerados de particulados.	Implantado
	Fazer limpeza mensal nas mantas com ar comprimido.	Limpeza e/ou substituição das mantas da central 2 e 3 a cada 30 dias por meio de ar comprimido	Controle de trocas e limpezas das mantas da central 2 e 3 pelo responsável da manutenção.	Implantado

Continuação do Quadro 8.

Manter túneis de sucção de ar inferior sempre limpos	Fazer limpeza nos tuneis de retorno do Filatório a cada 4 dias.	Limpeza semana dos túneis de sucção do Filatório há cada 4 dias por dois colaboradores por meio de ar comprimido.	Túneis mais limpos, sem obstrução de aglomerado de particulados pesados dificultando arraste até o filtro.	Implantado
Sujeiras nas Grelhas	Fazer orientação com os operadores para não jogar sujeira na grelha e estar desobstruindo a mesma caso esteja com resíduo.	Verificação rotineira ao final de cada turno por um colaborador sobre a quantidade de resíduo preso nas grelhas de sucção no piso.	Novo procedimento em forma de <i>check list</i> para todas as grelas no setor dos Filatórios de limpeza e desobstrução das grelhas.	Implantado
Filtros Entupidos	Fazer verificação 2 vezes no turno e verificar os filtros com relação a estarem entupidos ou não.	Verificação por um colaborador da manutenção 2 vezes por turno sobre a passagem de ar nos filtros não está obstruída por resíduo.	Novo procedimento em forma de <i>check list</i> para o colaborador responsável averiguar o funcionamento do filtro sem obstrução.	Implantado
Ajuste e conscientização dos colaboradores	Criar um ciclo contínuo de treinamento para que os operadores novatos estejam sempre informados a respeito do descarte do resíduo e da limpeza da grelha.	Novo POP específico para setor de manutenção sobre o sistema de filtragem, no âmbito técnico e comportamental, com treinamento a cada 15 dias.	Novo POP e treinamento contínuo de novos colaboradores para o procedimento de conscientização da limpeza e descarte de resíduos para o melhor funcionamento do sistema.	Implantado

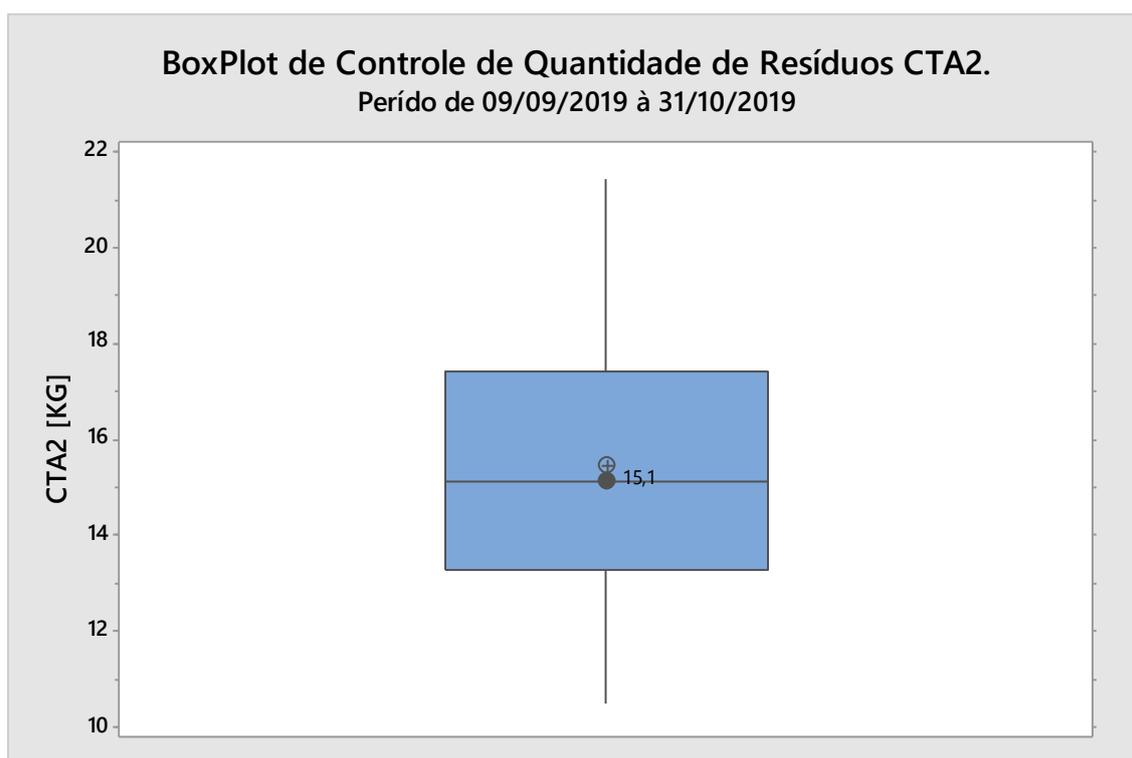
Fonte: O Autor, 2019.

4.5.6. Descrição do atingimento dos resultados

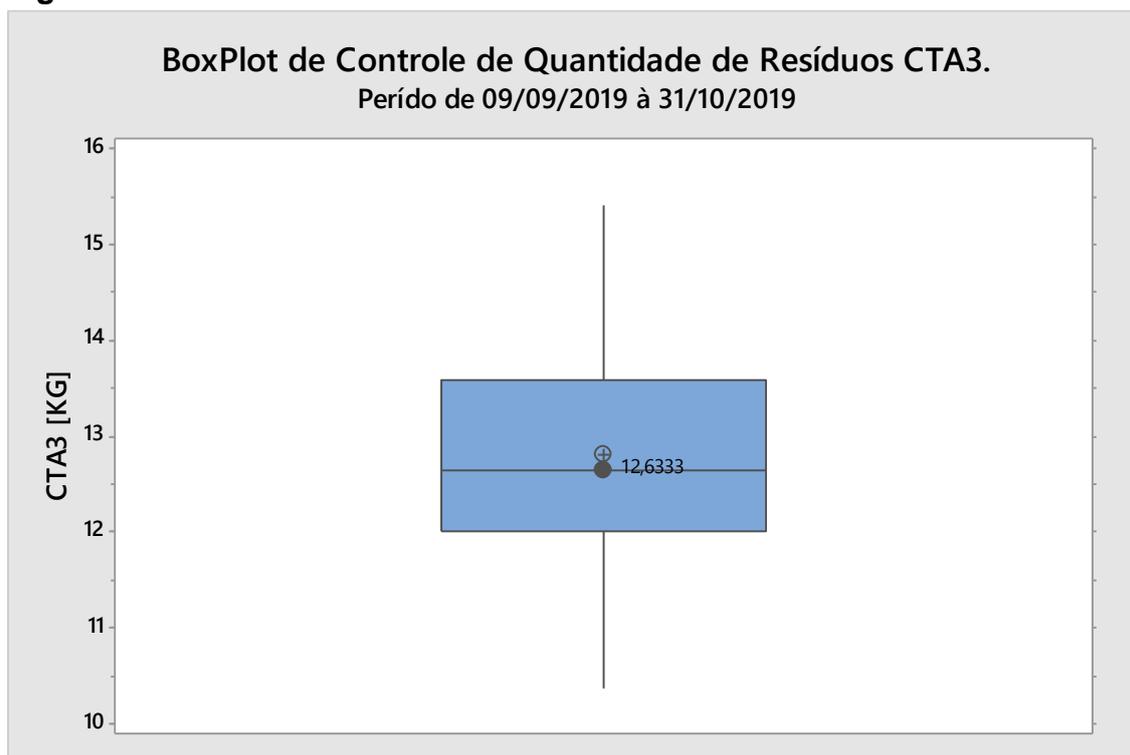
Com as ações corretivas implementadas no processo de depuração, aferiu-se a coleta e pesagem dos resíduos no intervalo de tempo já estipulado e foram gerados os gráficos para os indicadores estabelecidos no trabalho na forma de BoxPlot; Cartas de Controle e Relatório de Capacidade de Processo *Six Pack*, retratam o comportamento do processo com as aplicações de implementação.

A Figura 72 e Figura 73 apresentam o BoxPlot de controle de resíduos coletados na CTA2 e o BoxPlot de controle de resíduos coletados na CTA3 complementado pela Tabela 18, compara este indicador entre os períodos de meses de março, abril setembro e outubro de 2019.

Figura 72. BoxPlot de Controle de Resíduos Coletados CTA2.



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 73. BoxPlot de Controle de Resíduos Coletados CTA3.

Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 18. Quantidades de resíduos coletados CTA2 e CTA3.

2019		
Mês	CTA2 [kg]	CTA3 [kg]
Março	15,8167	13,3000
Abril	18,5290	14,5681
Setembro e Outubro	15,1000	12,6333

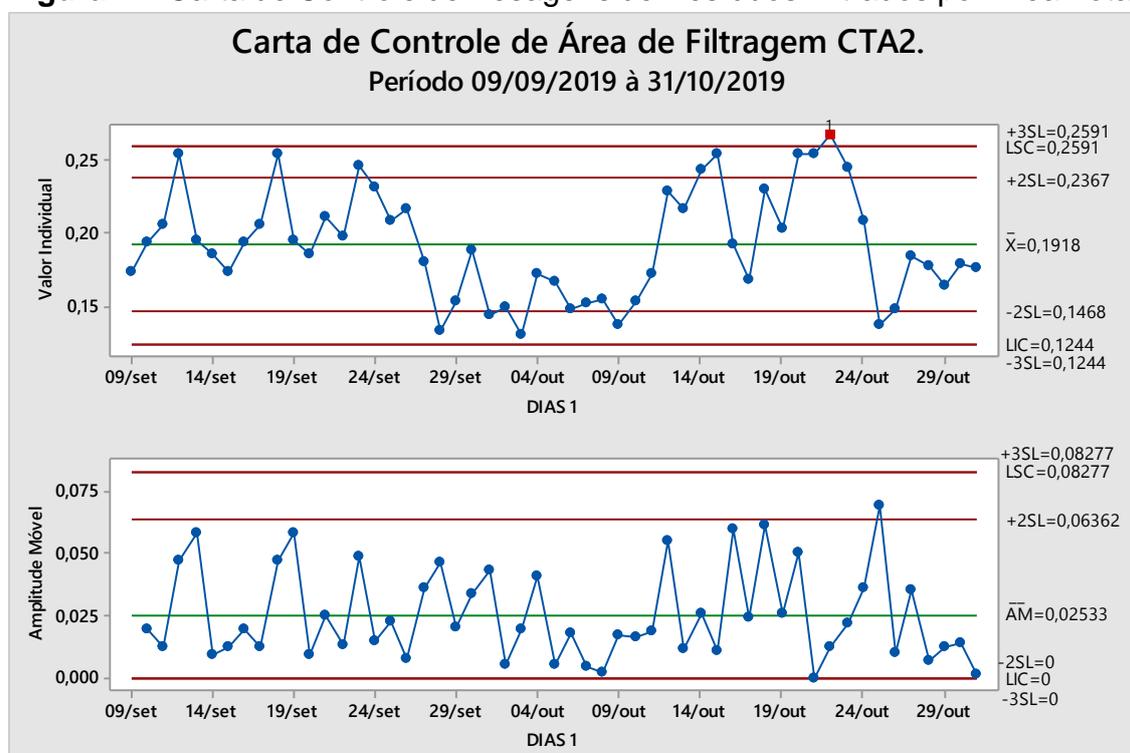
Fonte: O Autor, 2019.

Os resultados encontrados demonstraram que as centrais apresentaram melhorias na captação de resíduos após as ações corretivas. Este fato fica evidenciado para a Central com um valor de 15,1000 kg e para a Central 3 um valor de 12,6333 kg. A Tabela 18 evidenciou o comparativo entre a etapa do *IMPROVE* e a etapa do *MEASURE*. Nos meses de março e abril foram realizadas as estratificações, que geraram resultados do comportamento da capacidade de filtragem do depurador pela coleta mássica de resíduos e nos meses de setembro e outubro o comportamento com a implementação de ações corretivas. Os valores encontrados concluem que, antes das ações corretivas existia uma variação na quantidade de resíduos coletados, um aumento de

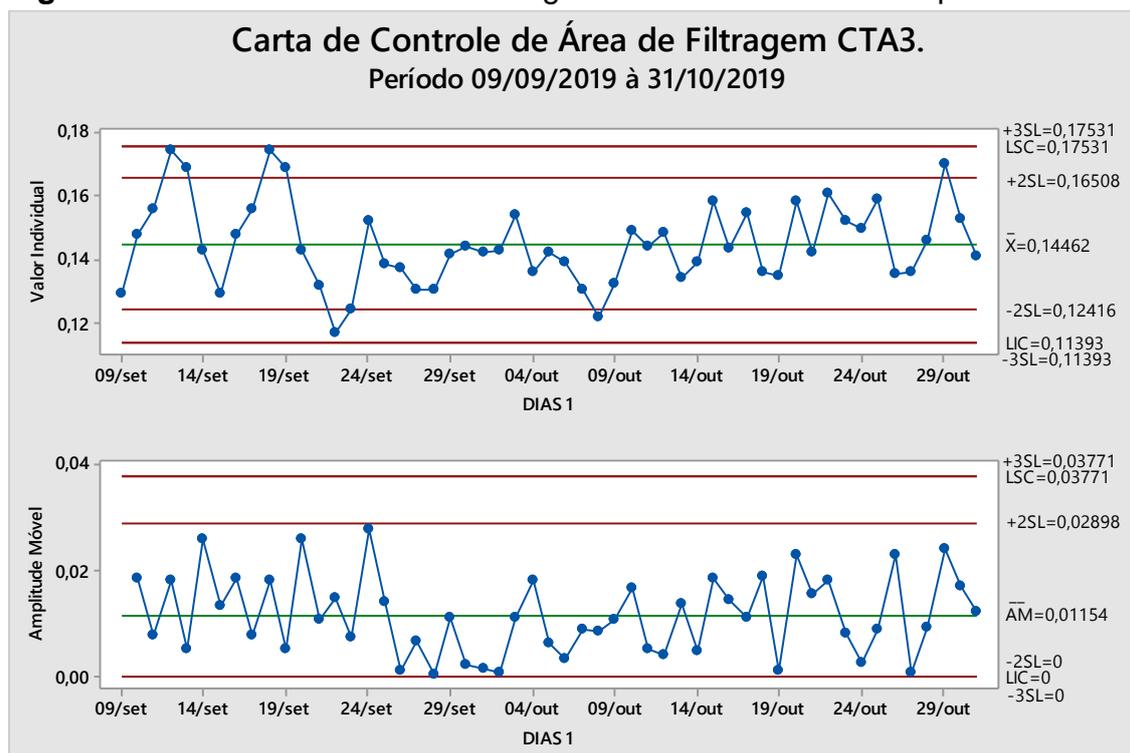
14,6381% para a Centra 2 e 8,7046% na Central 3 entre março e abril. Justifica-se esse aumento devido ao processo de depuração sofrer com um acréscimo de resíduos jogados nas grelas e nos túneis pelos colaboradores, obrigando o sistema a trabalhar de forma forçada para retirar esses resíduos dos túneis e mantas de filtragem. Ao final, gerando uma maior quantidade mássica de resíduo, em comparação nos meses de setembro e outubro ocorreu uma diminuição de 18,5061% na Central 2 e 13,2811% na Central 3 na quantidade mássica de resíduo coletado, justifica-se essa diminuição pelo fato de que o sistema de depuração está mais controlado devido às ações corretivas que minimizaram as quantidades de resíduos aglomerados mais pesados nos túneis de sucção e nas grelhas, melhorando o fluxo de ar insuflado no Filatório e desobstruindo as mantas facilitando sua função de filtragem.

A Figura 74 e Figura 75 ilustram a carta de controle de pesagens de resíduos filtrados por área total. Elas revelam o comportamento para o indicador de capacidade de filtragem por área total para a Central 2 e Central 3, respectivamente.

Figura 74. Carta de Controle de Pesagens de Resíduos Filtrados por Área Total.



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 75. Carta de Controle de Pesagens de Resíduos Filtrados por Área Total.

Fonte: O Autor, 2019.

Com os resultados para a Central 2 e Central 3, o processo de depuração está sob controle estatístico após a aplicação das melhorias. Este fato se fundamenta pelo comportamento da Carta de Controle, que representou as amostras oscilando próximo da média e não extrapolando dois desvios e nem três desvios padrão acima ou abaixo da linha central e nenhum teste com falha da amplitude móvel. Nota-se também que a Central 3 obteve o melhor resultado em sua Carta de controle com dados estáveis comparado à etapa de Mensuração onde testes apresentaram falhas e que agora foram solucionados.

A Tabela 19 apresenta a capacidade de filtragem por área total da CTA 2 e CTA3.

Tabela 19. Capacidade de Filtragem por Área Total CTA2 e CTA3.

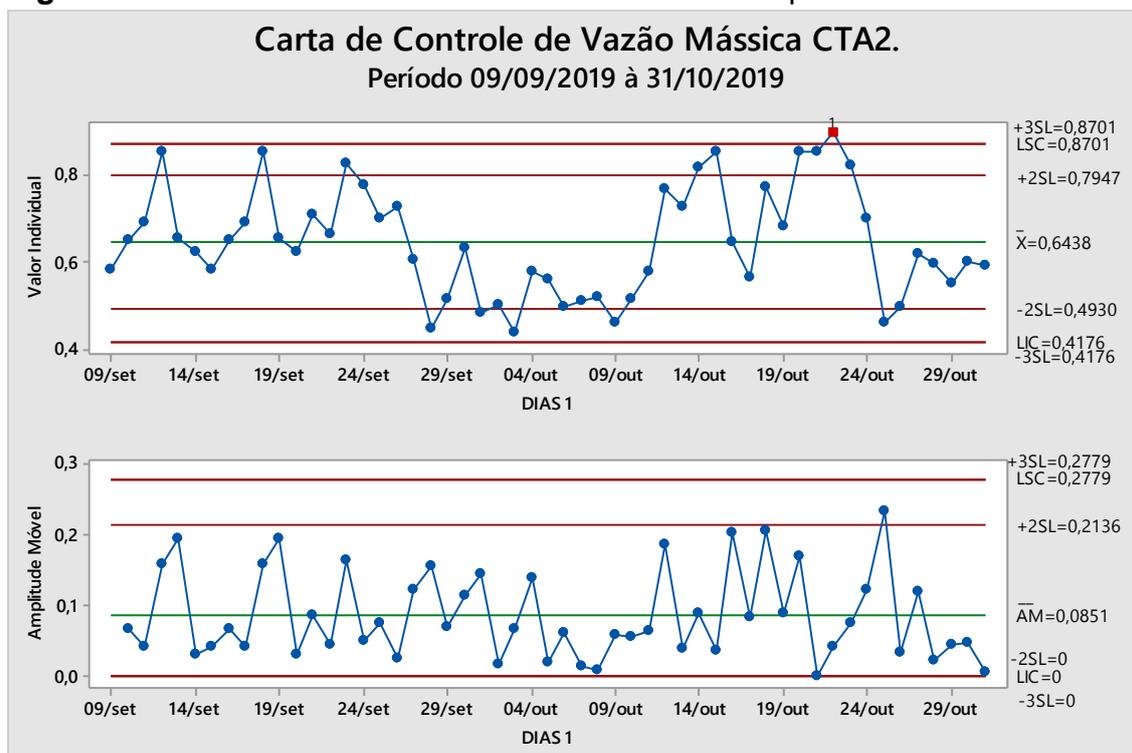
2019		
Mês	CTA2 [kg/m ²]	CTA3 [kg/m ²]
Março	0,1981	0,1570
Abril	0,2299	0,1644
Setembro e Outubro	0,1918	0,1446

Fonte: O Autor, 2019.

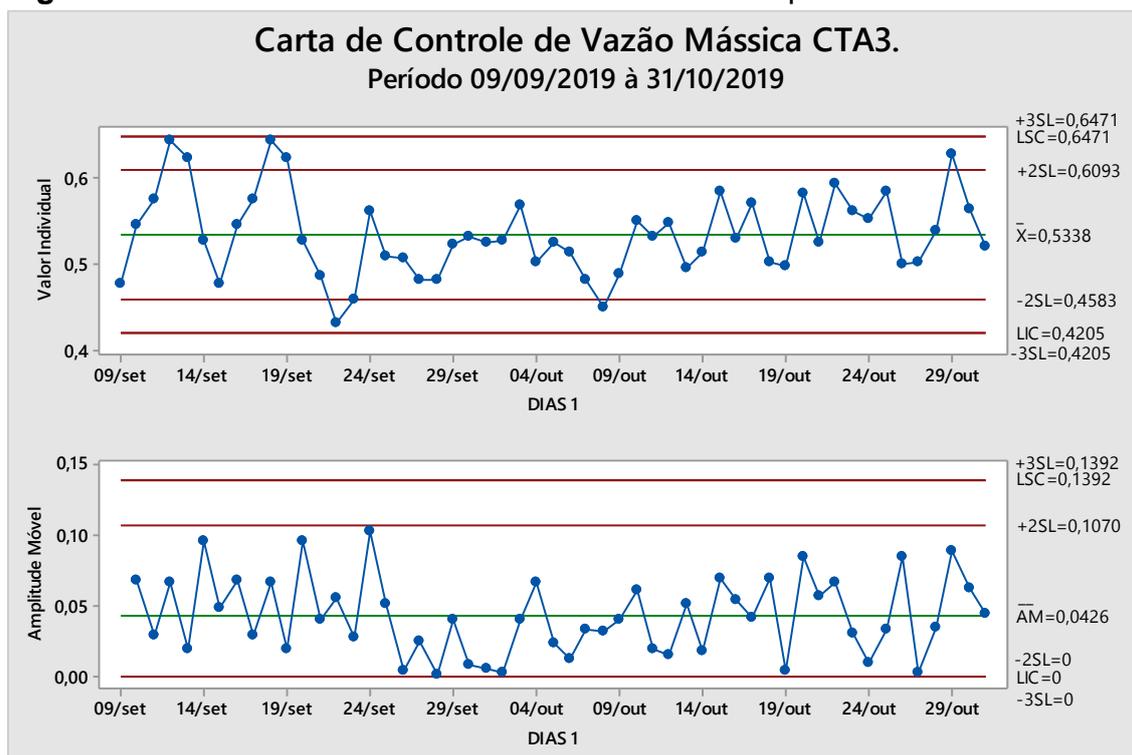
Os resultados encontrados na Tabela 19 estão comparados entre os meses de março e abril com um aumento de 13,8321% e 4,5012% para Central 2 e Central 3, respectivamente. Entre os meses de setembro e outubro houve uma diminuição de 16,5724% e 12,0437% para Central 2 e Central 3, respectivamente. A diminuição não representa que o processo piorou, mas apresenta que as ações corretivas surtiram o efeito desejado, visto que o depurador agora faz a sucção somente dos particulados em suspensão sem a presença de aglomerados, diminuindo a quantidade mássica final de resíduos e o processo está sob controle estatístico

A Figura 76 e Figura 77 mostram a carta de controle de vazão mássica dos depuradores.

Figura 76. Carta de Controle de Vazão Mássica do Depurador da CTA2.



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 77. Carta de Controle de Vazão Mássica do Depurador da CTA3.

Fonte: O Autor, 2019.

O resultado encontrado para o indicador de vazão mássica, o comportamento do processo de depuração nas centrais se demonstrou estável, durante o mês de outubro no início das ações corretivas, revelam que o processo ficou dentro dos níveis sigma, apresentando uma leve oscilação e depois se tornando mais estável sem falhas nos testes estatísticos e com cartas de amplitude móvel oscilando muito próximo da linha central, os quais expõem um indicativo de estabilidade e controle adquirido no processo.

A Tabela 20 apresenta os dados de vazão mássica para a CTA2 e CTA3, com os dados obtidos para o indicador de Vazão Mássica na etapa *IMPROVE* e na etapa do *MEASURE* com as ações aplicadas de melhoria.

Tabela 20. Dados de Vazão Mássica para a CTA2 e CTA3.

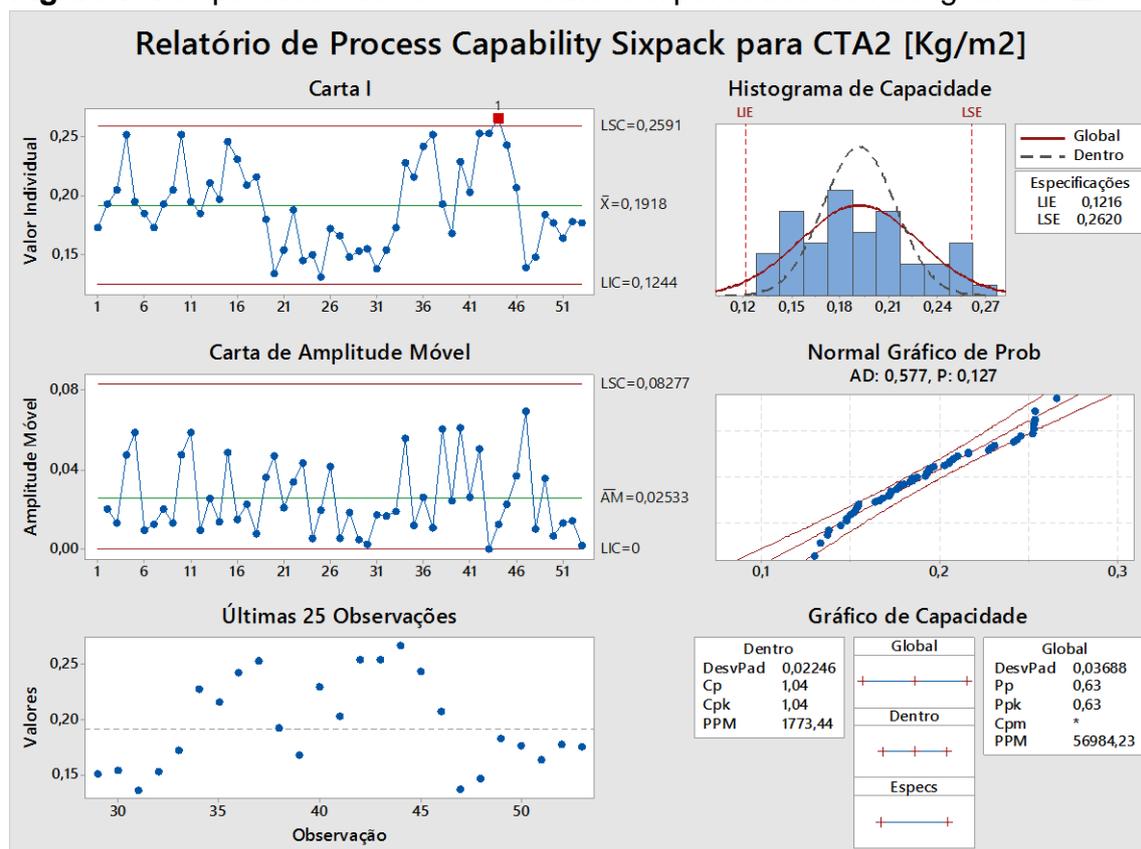
2019		
Mês	CTA2 [kg/h]	CTA3 [kg/h]
Março	0,6652	0,5797
Abril	0,7720	0,6070
Setembro e Outubro	0,6438	0,5338

Fonte: O Autor, 2019.

Os dados apresentados na Tabela 20 servem de comparação para os comportamentos das centrais em estudo para o indicador de Vazão Mássica. Entre os meses de março e abril ocorreu um aumento de 13,8341% e 4,4975% nesse indicador na Central 2 e Central 3, respectivamente. Nos meses de setembro e outubro ocorreu uma diminuição de 16,6062% e 12,0593% na Central 2 e Central 3, respectivamente. Estes valores corroboram quando aliados aos outros indicadores de estudo, também demonstram que as centrais melhoram seu processo, estabilizando a filtragem no ambiente industrial melhorando a qualidade do ar e o funcionamento do equipamento.

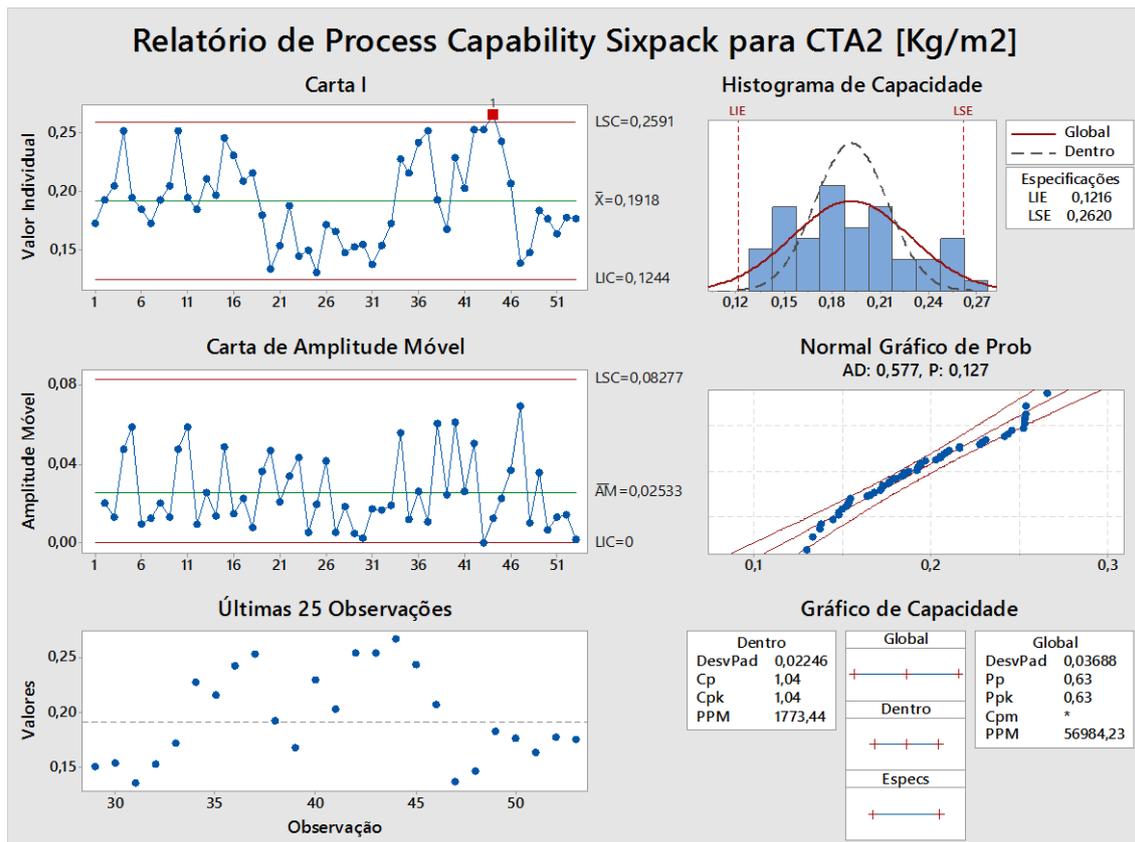
A Figura 78 e Figura 79 representam o estudo estatístico detalhado da capacidade de processo do depurador com relação ao indicador de Capacidade de Filtragem por Área Total da Central 2 e Central 3.

Figura 78. Capacidade de Processo *Six Pack* para Área de Filtragem CTA2.



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 79. Capacidade de Processo *Six Pack* para Área de Filtragem CTA3.



Fonte: O Autor, 2019.

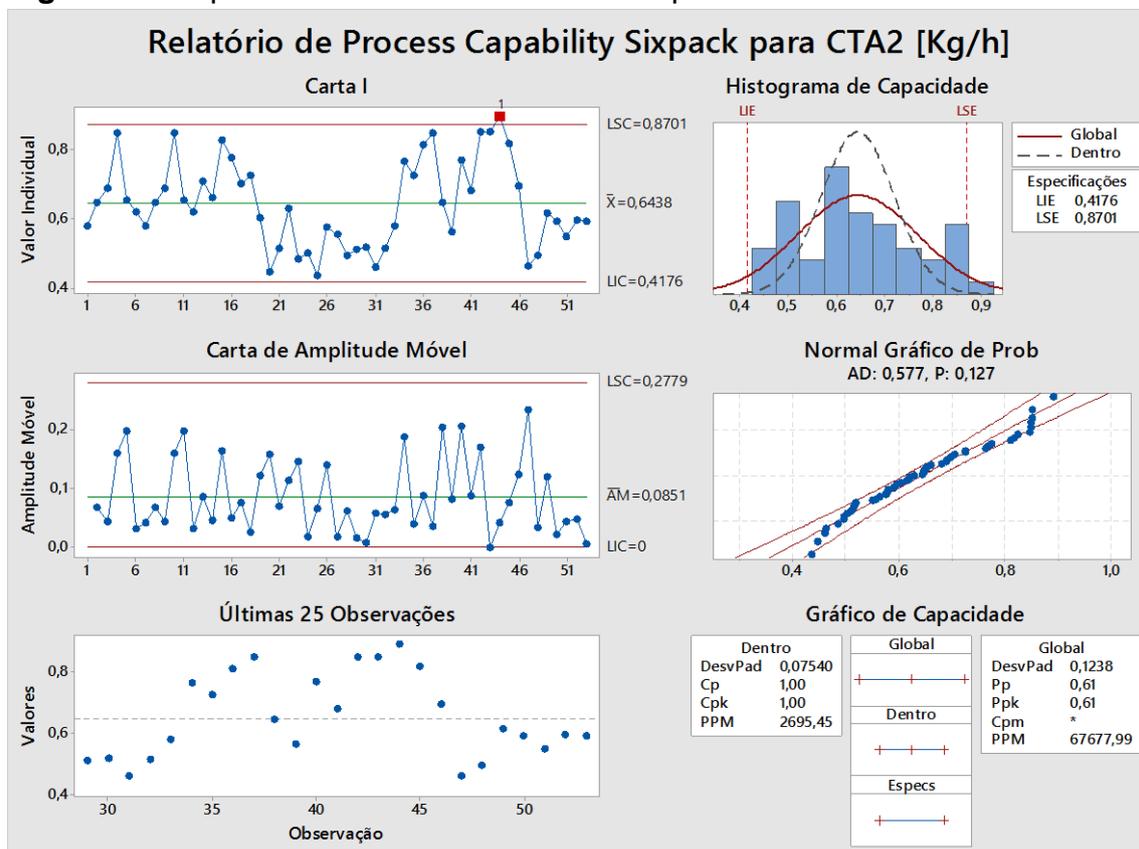
O resultado do relatório *Six Pack* traz informações importantes sobre o comportamento do processo. Nela são apresentadas as cartas de controle já mencionadas e discutidas, o diagrama de dispersão para as coletas efetuadas, o diagrama de histograma de capacidade, indicando que o processo está em sua maioria dentro dos limites de controle de desvio padrão sigma. Porém, sendo necessário ainda melhorias a serem aplicadas e o diagrama de probabilidade normal ou também conhecido como gráfico de normalidade de processo. Visualiza-se que os dados são normais, pois estão em sua maioria centralizados da média e entre os limites inferior e superior. Outro indicador importante sobre os valores de Cp e Cpk com valor de 1,04, indicando que o processo atende à demanda e está sob controle estatístico. A Tabela 21 ilustra a relação de valores de Cp e Cpk e como podem ser classificados ao processo em estudo.

Tabela 21. Relação de Valores de Cp e Cpk.

Classificação	Índices	
	Cp	Cpk
Retrabalho	<1	<1
Controle	1	1
Ótimo	1,33	1,33

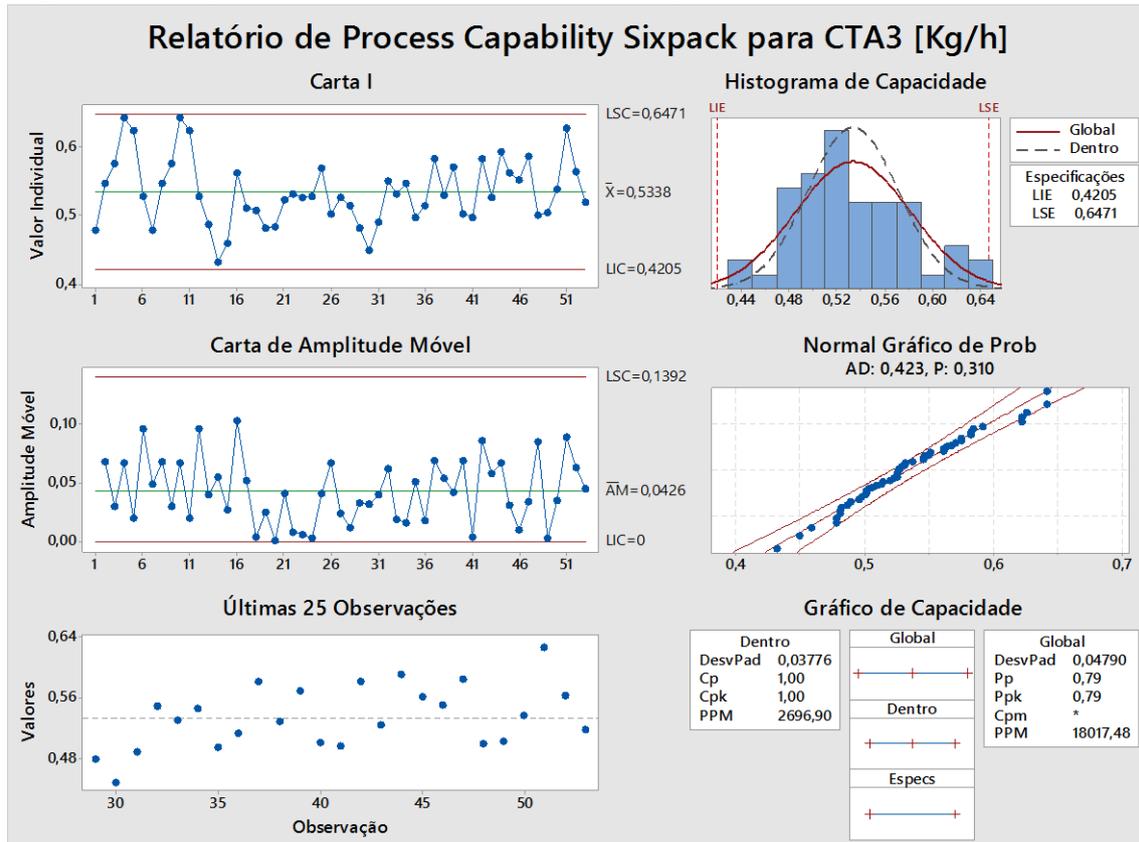
Fonte: Adaptado, WERKEMA, 2016

A Figura 80 e Figura 81 representam o estudo estatístico detalhado da capacidade de processo do depurador com relação ao indicador de Capacidade de Vazão Mássica da Central 2 e Central 3.

Figura 80. Capacidade de Processo *Six Pack* para Vazão Mássica CTA2.

Fonte: O Autor, 2019.

Figura 81. Capacidade de Processo Six Pack para Vazão Mássica CTA3.



Fonte: O Autor, 2019.

Analisando os resultados da Figura 80 e Figura 81 para o indicador de vazão mássica, observa-se o controle estatístico do processo e que este indicador se comportou melhor que os outros estipulados em estudo com as aplicações das ações corretivas, para as cartas de controle, diagrama de distribuição de normalidade, histograma de capacidade e om valor de Cp e Cpk atendendo à demanda do processo.

A aplicação das melhorias e ações corretivas ao longo dos meses de outubro de novembro foi acompanhada e registrada também em forma de fotos para, posteriormente, estabelecer uma comparação com o estado anterior e posterior.

A Figura 82 ilustra as mantas dos depuradores. Um comparativo entre as mantas dos depuradores das centrais antes das ações corretivas e após elas.

Figura 82. Mantas dos Depuradores.



a. Antes

b. Depois

Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 83 ilustra as aletas de ar externa utilizadas para controle do fluxo de ar externo do ambiente industrial, antes e depois das ações corretivas de âmbito técnico de limpeza.

Figura 83. Aletas para entrada de ar externo.

a. Antes



b. Depois



Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 84 apresenta os bicos injetores de controle de umidade antes e depois das ações corretivas de âmbito técnico de limpeza.

Figura 84. Bicos Injetores de Controle de Umidade.



a. Antes

b. Depois

Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 85 apresenta as grelhas de sucção ao chão do ambiente industrial sem obstrução de aglomerados e os túneis subterrâneos sem depósito de particulados maiores após a aplicação das ações corretivas.

Figura 85. Grelhas de sucção.



Fonte: O Autor, 2019.

Os resultados da etapa do *IMPROVE*, demonstrou que a ações corretivas aplicada a um processo de depuração resultam em estabilidade funcional. O processo consegue atender à demanda solicitada sem grandes desperdícios e gastos desnecessários de insumos. Com indicadores relatando valores confiáveis e uma mudança em âmbito técnico e comportamental dos envolvidos, novos padrões a serem seguidos no processo, uma conscientização

dos colaboradores em melhorar seu ambiente de trabalho. O principal ganho com a aplicação da ferramenta do Seis Sigma junto ao *Design for Lean Six Sigma (DFLSS)* foi uma nova visão da gestão do processo de depuração, que abriu oportunidades a melhorias contínuas.

4.6. RESULTADOS DA ETAPA 2 – 5) CONTROLAR (*CONTROL*): Controle sistemático, implementação e operacionalização de propostas de tecnologias substitutivas, com o intuito de validação dos procedimentos para o índice de filtragem e sistematização dos resultados para a replicabilidade em processos análogos.

4.6.1. Descrição, novo padrão de operação

No período correspondente entre as datas do dia 01 ao dia 31 de novembro de 2019, foi realizada a última etapa da metodologia DMAIC com a comprovação das ações corretivas no formato do novo padrão a ser seguido para o processo de depuração. Os indicadores estabelecidos foram aferidos e comparados as outras etapas anteriores para a visualização das melhorias aplicadas através dos gráficos de BoxPlot e do Relatório Six Pack, que ilustra o comportamento das Cartas de Controle para o processo.

Os resultados encontrados estabelecem que a metodologia DMAIC aliada à ferramenta do Seis Sigma estrutura o *Design for Lean Six Sigma (DFLSS)*, como uma alternativa de controle estatístico de processos de depuração a ser replicado em qualquer outro análogo com características similares ao estudo de caso trabalhado.

A Quadro 9, apresenta o controle de itens de verificação de filtragem. Um novo modelo de controle adotado nos treinamentos e supervisão com os colaboradores a ser seguido, um novo procedimento de controle no ambiente dos Filatórios para que estejam sempre limpos de sujeiras e aglomerados de algodão nos dutos de sucção, mantas e filtros limpos e o sistema de filtragem e ordem no âmbito comportamental e técnico.

Quadro 9. Controle de itens de verificação de filtragem.

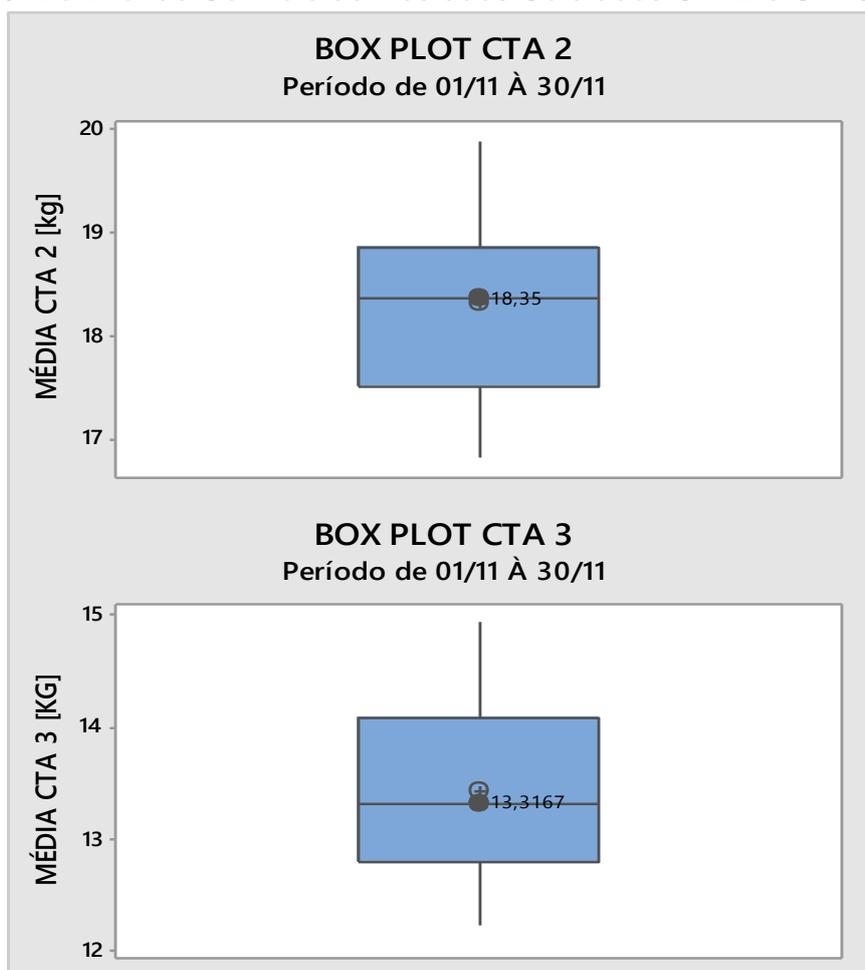
Item de Controle	Objetivo de Treinamento	Como fazer?	Data	Turno Realizado	Status
Sujeira no chão jogada pelos colaboradores	Conscientização dos colaboradores a respeito de não jogar resíduos no chão	Reuniões de treinamento a cada duas semanas com os colaboradores e supervisores			
Quantidade de resíduo coletado nas lixeiras no Filatório	Não deixar resíduos pesados irem nas grelhas e nos túneis de sucção de ar	Pesagem de resíduos jogados nas lixeiras do Filatório			
Mantas Saturadas	Manter as mantas em plena capacidade de retenção de particulados	Checagem da condição das mantas da central 2 e 3 duas vezes na semana (Terça-feira e sexta-feira), ao final do terceiro turno			
Túneis de sucção de ar inferior sempre limpos	Túneis de sucção sempre limpos e desobstruídos	Limpeza semanal dos túneis de sucção do Filatório há cada 4 dias.			
Sujeiras nas Grelhas	Orientação com os operadores para não jogar sujeira nas grelhas	Verificação rotineira ao final de cada turno por um colaborador			
Filtros Entupidos	Manter os filtros sempre desobstruídos e limpos	Verificação do colaborador da manutenção 2 vezes no dia			

Fonte: O Autor, 2019.

4.6.2. Validação de procedimento do índice de filtragem e sistematização dos resultados

A Figura 86 complementada pela Tabela 22, apresenta o BoxPlot de controle de resíduos coletados na CTA2 e CTA3 no período entre 01 e 31 de novembro de 2019.

Figura 86. BoxPlot de Controle de Resíduos Coletados CTA2 e CTA3.



Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 22. Quantidades de resíduos coletados CTA2 e CTA3.

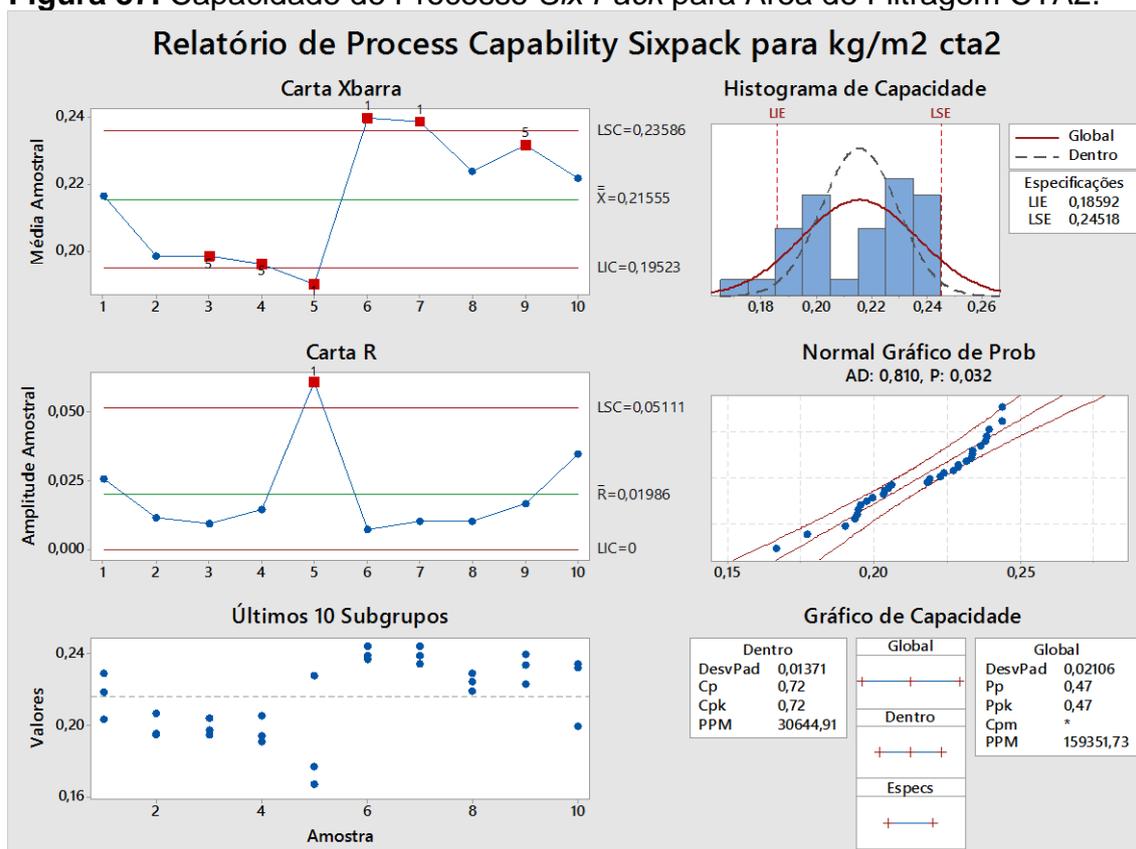
2019		
Mês	CTA2 [kg]	CTA3 [kg]
Março	15,8167	13,3000
Abril	18,5290	14,5681
Setembro e Outubro	15,1000	12,6333
Novembro	18,3500	13,3167

Fonte: O Autor, 2019.

Os valores representados na Tabela 22 correspondem ao acompanhamento dos indicadores de pesagens dos resíduos do sistema de depuração. Ressalta-se a importância do valor do mês de novembro um aumento de 17,71% para a Central 2 e 51,32% para a Central 3. Este aumento reflete a capacidade de filtragem destas centrais após as melhorias aplicadas no sistema, apenas particulados em suspensão estão sendo aspirados pelos túneis, proporcionando um ar mais limpo no ambiente dos Filatórios e, conseqüentemente, um melhor funcionamento do sistema como um todo.

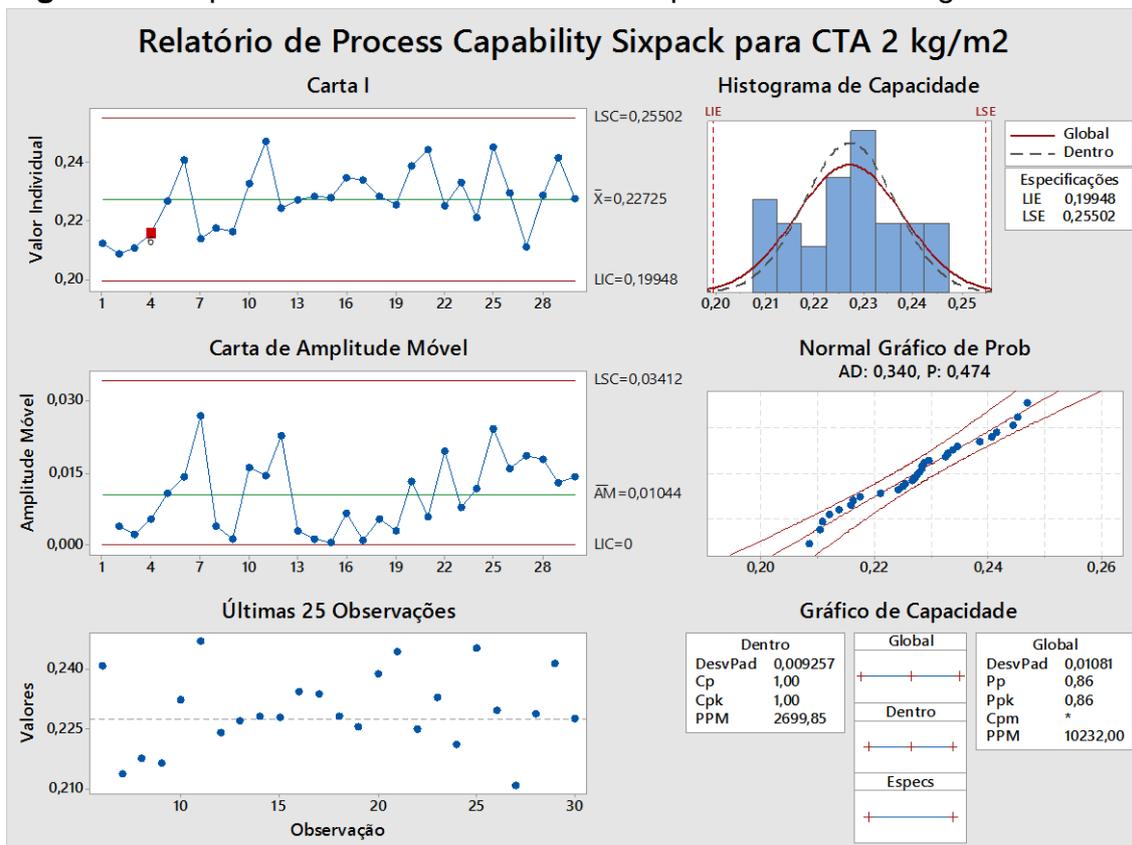
Estabelecendo uma comparação entre os estados da Etapa *MEASURE*, ocorridas nos meses de março e abril e da etapa *CONTROL*, apresenta-se na Figura 87 e Figura 88 o Relatório de Capacidade *Six Pack* completo do indicador de capacidade no processo de filtragem por área total para a Central 02 e Central 3.

Figura 87. Capacidade de Processo *Six Pack* para Área de Filtragem CTA2.



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 89. Capacidade de Processo *Six Pack* para Área de Filtragem CTA2.

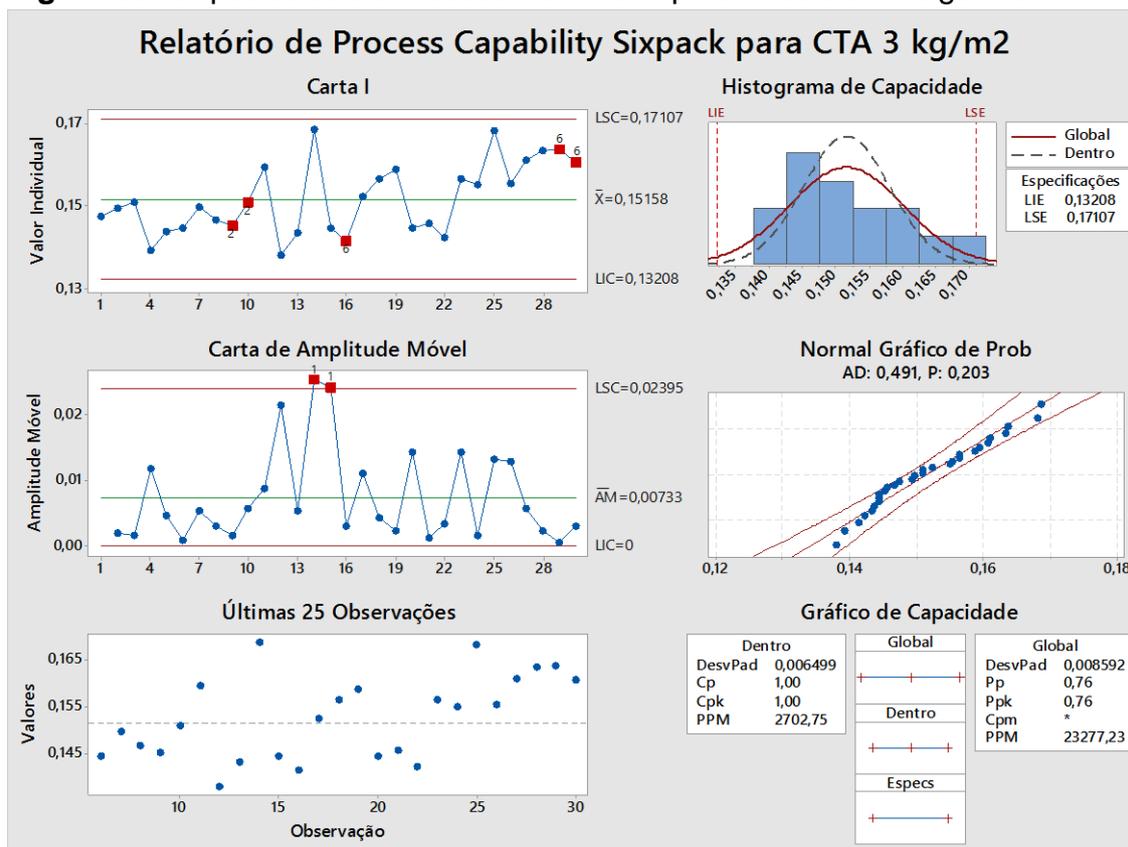


Fonte: O Autor, 2019.

A Central 2, na etapa de controle, comportou-se estatisticamente estável após as melhorias em sua captação de particulados, através da comprovação de sua carta de controle com valores dentro dos níveis sigma, sem falhas nos testes para a amplitude móvel, com uma distribuição normal dos limites de controle inferior e superior, normalidade ajustada e com o valor de Cp e Cpk igual a 1, que têm aceção de processo atendendo à demanda de operação.

A Figura 90 apresenta o relatório de Capacidade de Processo *Six Pack* para Área de Filtragem CTA2 no período de novembro.

Figura 90. Capacidade de Processo Six Pack para Área de Filtragem CTA2.

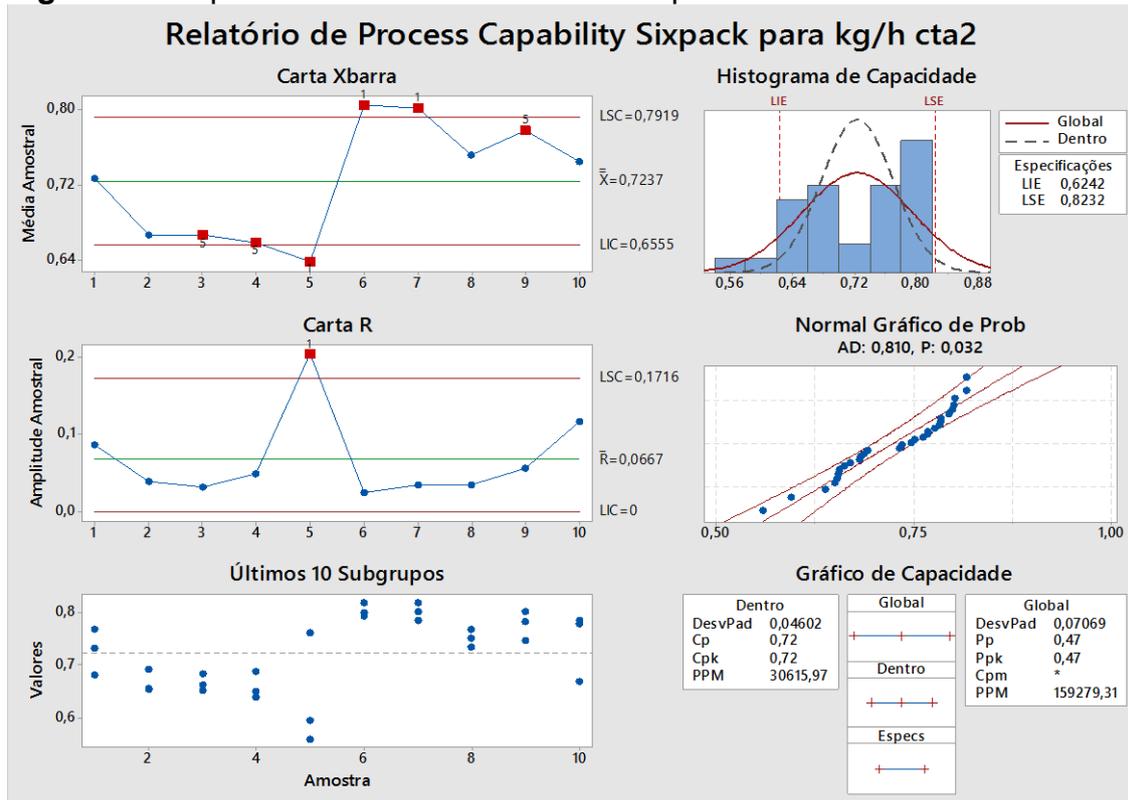


Fonte: O Autor, 2019.

Os resultados encontrados para a Central 3, no período da etapa de controle apresentaram uma leve variação. A carta de controle sinalizou falha no teste 1 e teste 6, que corresponde a quatro dentro cinco pontos mais do que 1σ da linha central superior e inferior. A carta de amplitude móvel teve apenas um teste com falha, o teste 1. Uma pequena variação no gráfico de histograma com leve atenção ao extrapolar o limite superior e valor de Cp e Cpk igual a 1,00, ressalta-se que se comparar à etapa de melhorias, este valor diminuiu, nos meses de outubro e novembro o valor era de Cp e Cpk era de 1,04. Porém, mantém-se no patamar de atendimento à demanda solicitada do equipamento de depuração. A Central 3 é a que apresentou maior variabilidade no processo e, por este motivo, o controle continuará sendo acompanhado com maior rigor para estabilizar o processo.

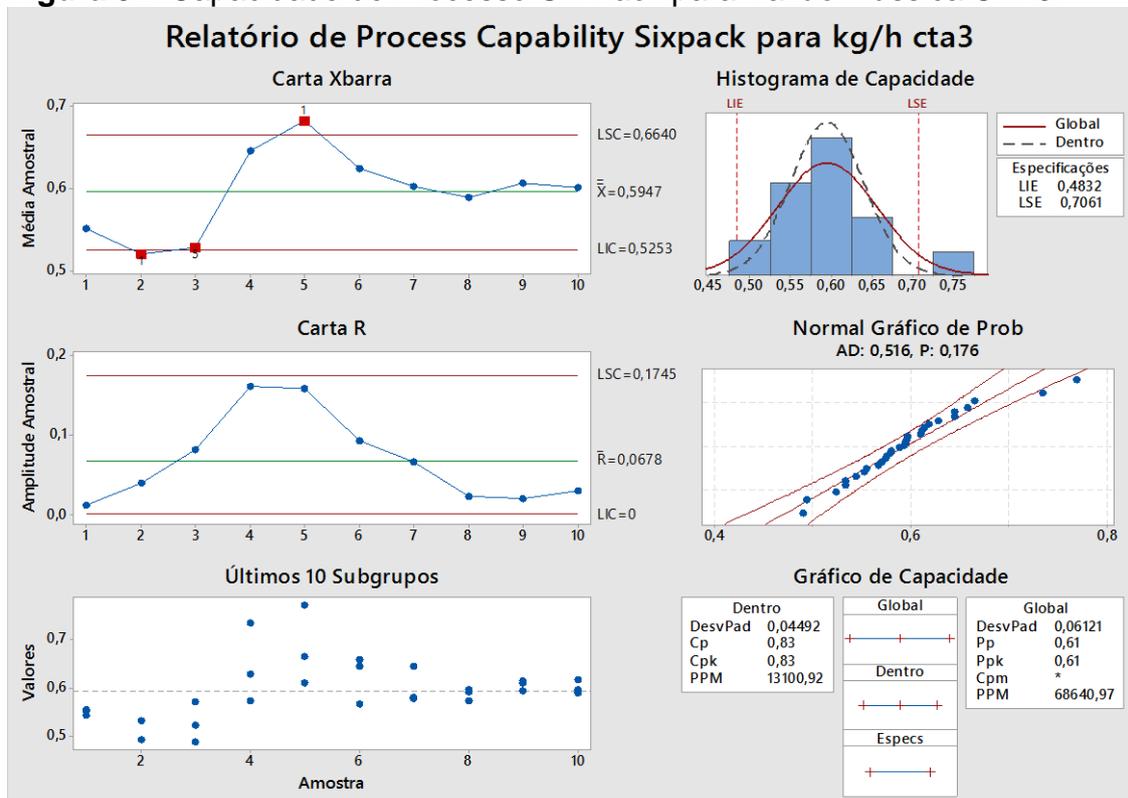
Estabelecendo uma comparação entre a etapa do *MEASURE*, entre os meses de março e abril, a Figura 91 e Figura 92 respectivamente apresentam o comportamento do indicador de vazão mássica por meio do Relatório de Capacidade Six Pack.

Figura 91. Capacidade de Processo Six Pack para Vazão Mássica CTA2.



Fonte: O Autor, 2019.

Figura 92. Capacidade de Processo Six Pack para Vazão Mássica CTA3.

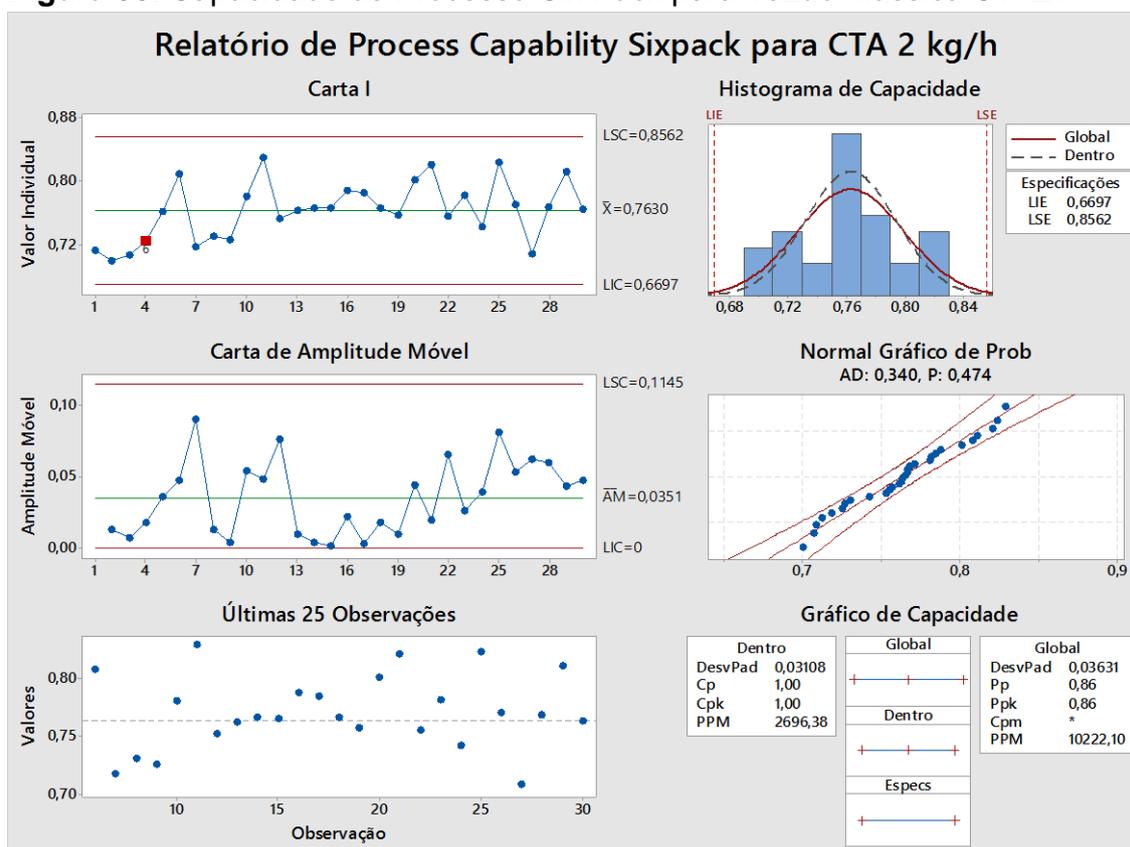


Fonte: O Autor, 2019.

O resultado encontrado nas Figuras 91 e Figura 92 expressa o comportamento estatístico fora de padrão das centrais em análise, com valores de Cp e Cpk igual a 0,72 para a Central 02 e Cp e Cpk igual a 0,83 para a Central 03, análogo ao indicador de área de filtragem, era de se esperar esses resultados, pois os mesmos têm relação proporcional de dependência. Estes resultados indicaram no período que o processo não atendia a demanda, oportunizando a melhoria a ser aplicada no processo de depuração que viria nas etapas posteriores e culminaria na melhoria na etapa do *CONTROL*.

A Figura 93 apresenta o relatório de capacidade de processo *Six Pack* para vazão mássica CTA2 estatístico completo de seu comportamento com relação ao período de novembro de análise da etapa de controle.

Figura 93. Capacidade de Processo *Six Pack* para Vazão Mássica CTA2.



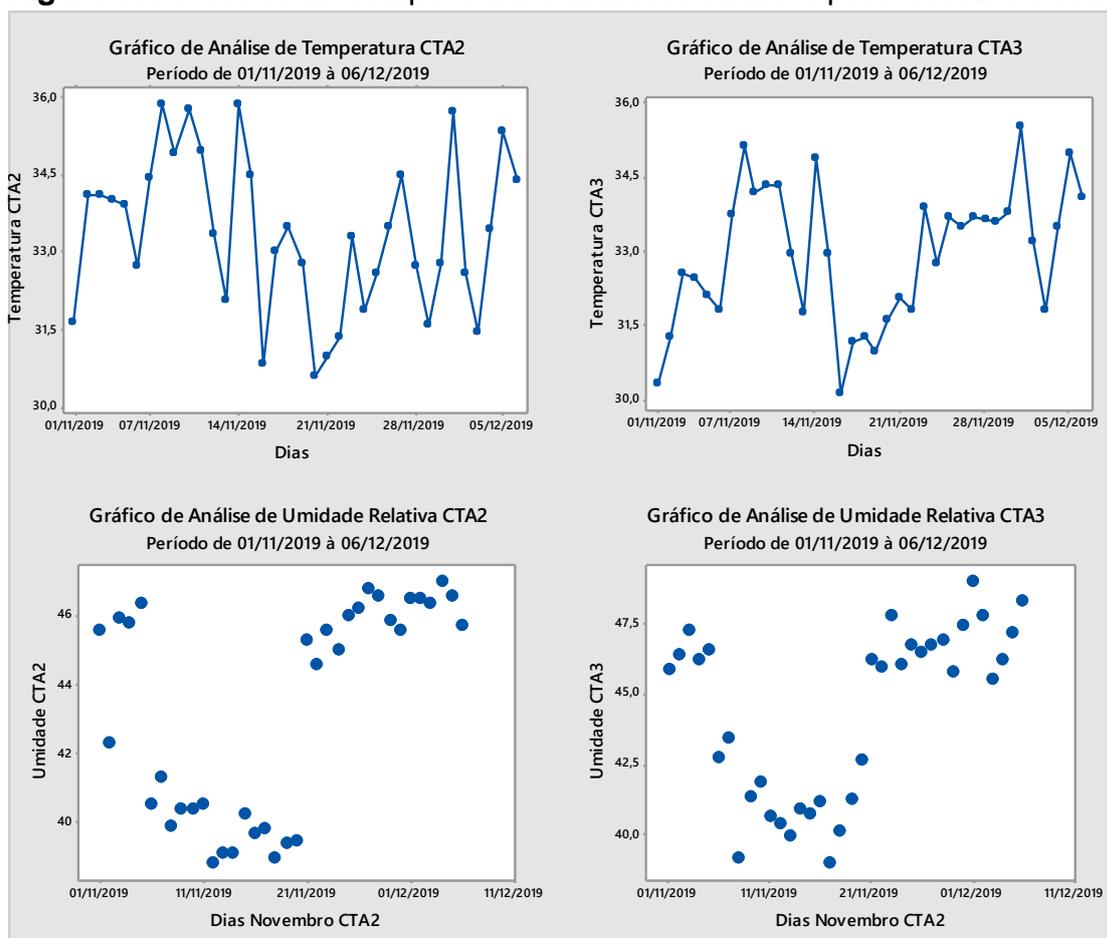
Fonte: O Autor, 2019.

Os resultados encontrados para a Central 2 identificam que ela se manteve sob controle estatístico, sem nenhuma falha em teste estatístico em sua carta de amplitude móvel e melhorando a sua distribuição normal nos limites inferior e superior, representados pelo gráfico de histograma. Sua distribuição de

uma situação de não atendimento da demanda para o patamar de atendimento da demanda com o indicativo de que a melhoria continua no processo.

Para os indicadores de Temperatura e Umidade Relativa na Central 2 e Central 3, a Figura 95 representa o controle de temperatura e umidade relativa para CTA2 e CTA3.

Figura 95. Controle de Temperatura e Umidade Relativa para CTA 2 e CTA3.



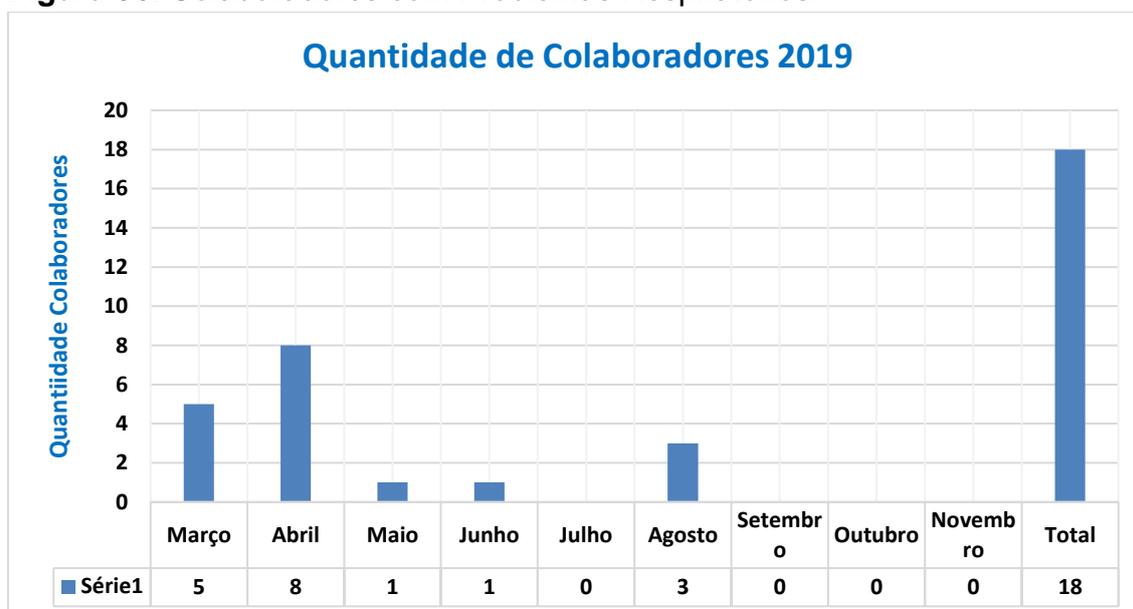
Fonte: O Autor, 2019.

Os indicadores de temperatura e umidade relativa sempre estiveram sob controle, justo porque estão diretamente interligados ao sistema produtivo. Foram acompanhados durante todas as etapas da metodologia DMAIC com a finalidade de averiguar sua relação com a quantidade de particulados em suspensão no ar. A temperatura e umidade têm fator importante na relação de como os particulados em suspensão se aglomeram. A variação brusca em seus valores acarreta a aglomeração em maior ou menor quantidade, resultando em problemas na deposição das grelhas e túneis de sucção, dificultando a

passagem de ar para os filtros. Durante as etapas do trabalho, percebeu-se que a temperatura sempre trabalhou entre um intervalo de 30°C a 36° C e a umidade relativa esteve entre 38% a 48%. Estes valores estão estabelecidos para o processo em estudo, logo, conclui-se que para processos análogos, estes indicadores podem sofrer variações dependendo da demanda e localização geográfica do processo produtivo.

O último indicador analisado é a quantidade de colaboradores, que apresentaram problemas respiratórios durante as etapas do trabalho. A Figura 96 ilustra os colaboradores com problemas respiratórios. Seu comportamento durante os meses de março até dezembro de 2019 com base nas informações do SESMT.

Figura 96. Colaboradores com Problemas Respiratórios.



Fonte: O Autor, 2019.

Percebeu-se que ao longo dos meses de março até agosto, o SESMT registrou 18 (dezoito) casos de colaboradores com entrada e comprovação de problemas respiratórios oriundos do ambiente industrial dos Filatórios. Ao decorrer dos meses de setembro a novembro com a aplicação das ações corretivas, os valores zeraram. A causa para que ocorresse essa mudança positiva, foi a etapa de melhorias e controle do processo de depuração resultando em uma melhor qualidade do ar no ambiente industrial atendendo o objetivo geral e os objetivos específicos de análise e consequências de

problemas respiratórios de colaboradores e comunidade próxima e a prospecção de tecnologias e métodos de melhoria do sistema atual de depuração.

4.6.3. Descrição e sistematização do indicador de ECOFICIÊNCIA

Com a etapa de controle finalizada, foi estabelecido o indicador de eficiência na Tabela 23 apresenta a relação da ecoeficiência histórica para as centrais CTA 2 e CTA3. Na forma de controle e modelo em um processo de depuração e com a vantagem de replicado em processos análogos com características similares com o intuito de estabilizar e melhorar o sistema de filtração de particulados em suspensão no ar em ambiente fabril.

Tabela 23. Relação de Ecoeficiência Histórica para as Centrais CTA2 e CTA3

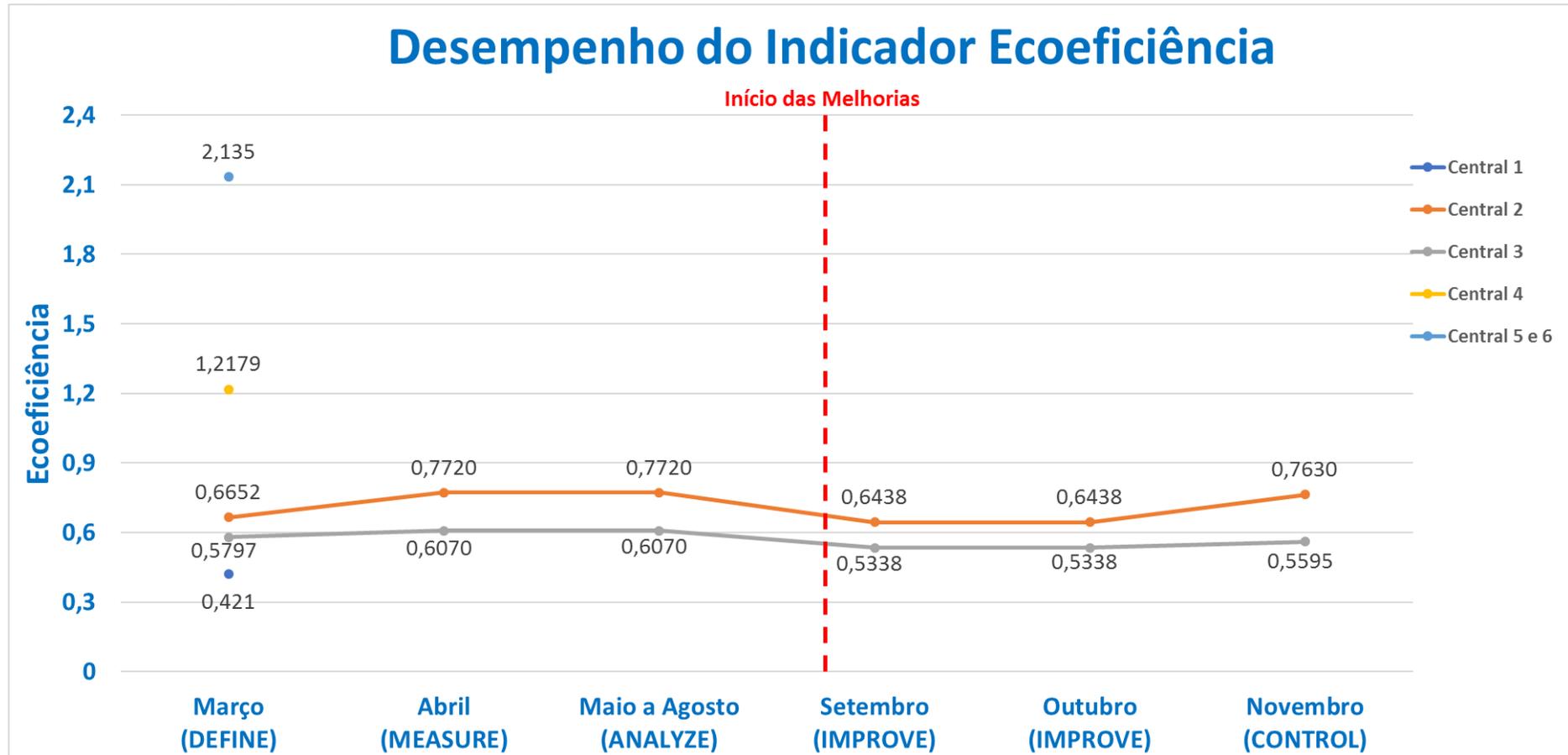
2019		
Mês	Ecoeficiência CTA2 [kg/h]	Ecoeficiência CTA3 [kg/h]
Março	0,6652	0,5797
Abril	0,7720	0,6070
Mai	0,7720	0,6070
Setembro	0,6438	0,5338
Outubro	0,6438	0,5338
Novembro	0,7630	0,5595

Fonte: O Autor, 2019.

A ecoeficiência para o sistema em estudo, após as aplicações da metodologia DMAIC, oportunizando todas as melhorias possíveis para um processo de depuração com a tecnologia disponível em uso, resultou em um valor de $0,7630 \text{ kg.h}^{-1}$ para a Central 1 e $0,5338 \text{ kg.h}^{-1}$ para a Central 3, que representam a capacidade de vazão de filtragem do sistema de depuração instalado no processo. Estes valores serviram de novo modelo a ser seguido para o processo, ressalta-se que pode sofrer variações, que foram comprovadas ao decorrer do trabalho, tendo como principal motivo a mudança e a sazonalidade da matéria-prima, a qual interfere no processo produtivo e, conseqüentemente, na quantidade de partículas suspensas no ar.

A Figura 93, ilustra o desempenho da ecoeficiência nas centrais de estudo, seu comportamento durante as etapas do DMAIC. Após o início das melhorias, o processo se estabiliza e apresenta um comportamento estatístico de controle.

Figura 97. Desempenho da Eficiência nas Centrais.



Fonte: O Autor, 2019.

O principal resultado encontrado se visualiza que a eficiência no começo do trabalho variava para cada central, após a estratificação e acompanhamento sistemático para as centrais 2 e 3. Este indicador começou a se estabilizar e melhorar. No mês de setembro, no início das ações corretivas, observaram-se as melhorias e o comportamento das centrais 2 e 3 se estabilizaram. A Central 2 foi melhor que a Central 3 por motivos técnicos e construtivos dos túneis de sucção. A central 3 está sob observação e maior monitoramento para as ações corretivas com o intuito de se aproximar da Central 2.

4.6.4. Prospecção de tecnologias alternativas e/ou substitutivas

A implementação da nova rotina do controle do processo de depuração por meio da técnica do *Lean* e Seis Sigma demonstrou-se como uma alternativa metodológica e tecnológica, visto que o emprego da metodologia DMAIC com o auxílio da ferramenta do Seis Sigma resultaram na elaboração dos novos indicadores de monitoramento industrial, que empregados adequadamente, revelam o comportamento de processos industriais. O patamar de inspeção e controle com maior acurácia por meios de dados estatísticos evidenciaram que os sistemas produtivos necessitam de novos meios de controle, uma vez que suas etapas além de gerar os produtos demandados, geram passivos ambientais, os quais em muitos casos são tratados com descaso, pela não aplicação de tratamentos adequados ou, simplesmente, não saberem identificar os pontos falhos nos processos produzindo quantidades de resíduos industriais, cujos são destinados inadequadamente ao meio ambiente.

No estudo de caso, a tecnologia em uso está em funcionamento há mais de 20 anos e, no decorrer desse período, poucas inovações foram inseridas nos equipamentos e processos. Como proposta de alternativa, a metodologia DMAIC demonstrou resultados com eficácia para o controle do processo, com o acompanhamento de indicadores que já existiam e a criação de novos. O uso da ferramenta do Seis Sigma comprovou sua importância nos processos produtivos, por revelar o comportamento produtivo e identificar os pontos a serem melhorados através de gráficos e relatórios de capacidade de processo.

Ao final da etapa de controle, foram avaliadas para o estudo de caso, as vantagens e desvantagens da técnica usada durante o estudo. Os pontos de desvantagens se resumiram em aspectos comportamentais dos colaboradores, ou seja, a mudança de suas rotinas e a aplicação dos conceitos da filosofia do *Lean Manufacturing*, provocou, inicialmente, um desconforto em uma minoria que teve que se adaptar e repensar sua rotina de trabalho. No aspecto técnico, não houve nenhuma desvantagem, bem porque, a técnica trouxe melhorias significativas ao processo.

Como vantagens, foi apresentado ao *CHAMPION* quatro perguntas para avaliação da técnica aplicada ao processo, as quais foram respondidas junto ao pesquisador.

1 - A empresa já se preocupou em prospectar novos equipamentos e/ou tecnologias de tratamento do ar? Se sim, quais seriam as melhores? Marcas, modelos, fabricantes, métodos diferentes de filtração?

Resposta: Apesar de sempre estar à procura de melhorar nossos processos, o nosso fornecedor das centrais de tratamento de ar, é renomado mundialmente, portanto, além de atender, a nossa necessidade, sempre procuramos atualizar nossa planta, de forma a nos manter competitivos.

2 - Com base no sistema de filtração instalado hoje na empresa, qual a melhor tecnologia substitutiva que a empresa almeja instalar? Foi feito algo para melhorar a captação de partículas no ar? Quais?

Resposta: Utilizando a mesma estrutura, foram feitas algumas modificações, internas para melhorar a filtração, como a substituição de mantas dos filtros rotativos. Recentemente, iniciamos um grande teste que é a aplicação de um tensoativo para melhorar o desempenho da fábrica, um de seus benefícios é gerar quantidade menor de resíduo/partículas, que pode ser comprovado pela quantidade menor de resíduo recolhido pelos filtros rotativos, que reduziram em média 8 a 10%. (este valor corresponde à média global de todas as centrais)

3 - O procedimento efetuado no ciclo DMAIC servirá de modelo para procedimento de controle de poluentes?

Resposta: *Sim, com a criação do indicador de monitoramento, dos particulados, a ferramenta nos ajudou a mensurar e monitorar a quantidade de partícula na sala.*

4 - A pesquisa realizada será replicada de alguma maneira em outras centrais de ar da empresa?

Resposta: *Sim, a pesquisas será replicada a outras centrais de tratamento de ar. O benefício que o trabalho agregou em nossa empresa, valida sua aplicação.*

As respostas apresentas pelo *CHAMPIONI* corroboram com os valores e resultados encontrados no trabalho e servem de modelo para a replicação, não somente no processo estudado, mas em qualquer processo produtivo tenha a oportunidade de melhorias, com análise e avaliação de seu cenário atual com a identificação de causas raiz e aplicação de melhorias por planos de ação e controle sistemático de processo.

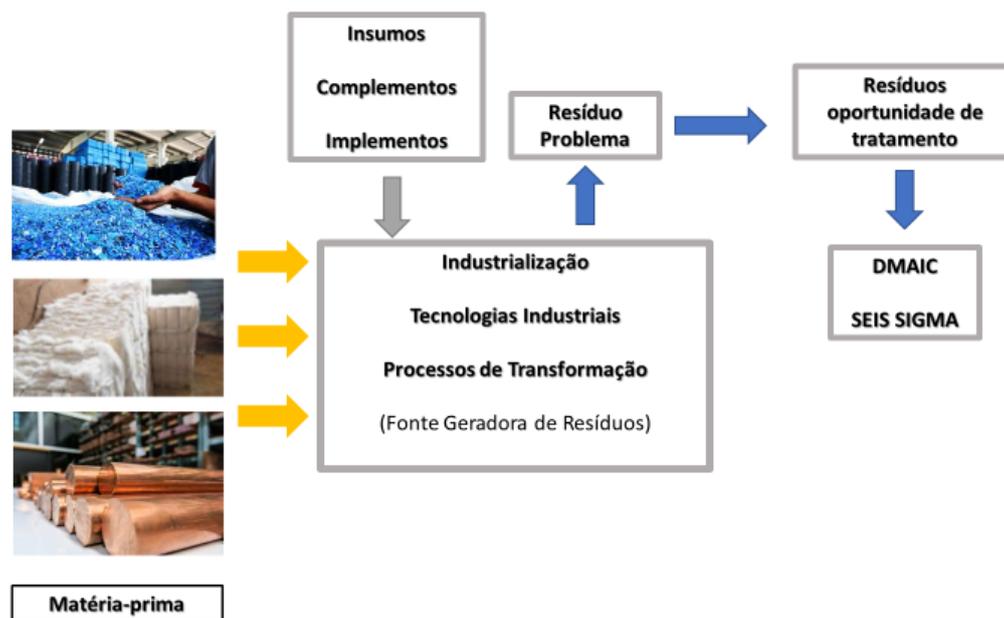
4.6.5. Avaliação dos impactos do ponto de vista social, econômico e ambiental

A implementação da mudança de cultura através dos ensinamentos da filosofia do *Lean Manufacturing* apresenta diversos impactos positivos, visto que seus preceitos se baseiam na eliminação de desperdícios com diminuição de insumos e matéria-prima em processos produtivos. Aliado ao *Design for Lean Six Sigma*, com a utilização da metodologia do DMAIC e com o auxílio da ferramenta do Seis Sigma os processos alcançam patamares de níveis sigma elevados, propiciando retorno econômico e social as partes envolvidas. O passivo ambiental gerado no processo fabril de fiação de algodão foi trabalhado de forma inovadora e única na região do município de Toledo – PR. Nova implantação de um modelo de gestão ambiental com a perspectiva da visualização sistemática de diversos processos industriais, levantando as causas

e consequências serviram de motivação para a aplicação de melhorias contínuas e sua replicabilidade, resultaram em um novo conhecimento técnico e comportamental, trabalhando de forma conjunta com as tecnologias utilizadas. Ademais, promoveram a substituição e o melhoramento dos processos, culminaram na promoção econômica, social e ambiental dos colaboradores e comunidade próxima, minimizando o passivo e agregando valor à pesquisa científica desenvolvida.

A Figura 94 ilustra, esquematicamente, o fluxograma de modelo de gestão de tratamento de resíduos industriais.

Figura 98. Fluxograma de novo modelo de gestão para resíduos industriais.



Fonte: O Autor, 2019.

Além da obtenção dos benefícios expostos e a redução dos passivos ambientais atrelados a atuais modelos de gestão de tratamento de resíduos industriais, a proposta estabelecida no presente estudo, possibilitaria a utilização da metodologia do DMAIC em âmbito ambiental para processos análogos com a finalidade de estabelecer um controle estatístico de situações reais nas industriais. Nesse sentido, promovendo uma visão holística e detalhada, levantando as causas e consequências e atacando as falhas nos processos de tratamento melhorando sua eficiência global.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados, pode-se estabelecer a conclusão que os objetivos específicos foram atingidos aliados ao objetivo geral. Assim, a metodologia aplicada correlacionada à técnica do *Lean* e Seis Sigma, estabeleceu melhoria no controle dos resíduos particulados suspensos no ar com a otimização da tecnologia em uso no estudo de caso. Assim, proporcionou uma alternativa para o monitoramento de poluentes gasosos, atendendo às premissas do projeto com a aplicação da metodologia DMAIC, com os seguintes atributos: 1) Versatilidade na sua utilização em vários setores industriais com processos análogos; 2) Permite um controle detalhado dos resíduos gerados, por meio de técnicas e indicadores confiáveis; 3) Auxilia na estratégia de controle ambiental dos processos, eliminando desperdícios de mão-de-obra e otimizando os mesmos; 4) Estabelece um controle de causas e consequências de problemas respiratórios em colaboradores, oriundos de processos industriais; 5) Favorece a utilização da técnica para diversas condições de operações, temperatura, umidade relativa, vazão mássica e gastos de energia; 6) Possui a incorporação de novas rotinas de controle e trabalho industrial, minimizando os impactos ambientais dos processos industriais, diminuindo geração de resíduos e melhorando a captação dos mesmos; 7) Permite o armazenamento de bando histórico de coleta de dados de forma contínua mediante uso de *software* computacional acessível aos usuários MINITAB 18; 8) Permite a apresentação de dados de forma gráfica e estatística para o usuário; 9) Analisa e prospecta as vantagens e desvantagens das tecnologias em uso, oportunizando novas aplicações de tecnologias substitutivas para os processos; 10) A técnica pode ser aplicada em processos análogos ao estudado sem custos de implementação, pois se baseia em uma filosofia amplamente utilizada nos sistemas industriais modernos e um novo modelo de gestão.

Diante disso, instaurando um paralelo de comparação entre as quantidades de resíduos industriais gerados no município de Toledo, o presente trabalho demonstrou que o uso da filosofia *Lean*, aliado a técnicas e ferramentas podem coadjuvar em sistemas análogos industriais proporcionando melhorias em seus processos e como consequências menores quantidades de resíduos

gerados, diminuindo os passivos ambientais, colaborando para a saúde da população e promovendo conhecimento científico.

Dessa forma, o presente trabalho de dissertação de mestrado contribuiu com o desenvolvimento da ciência e tecnologia brasileira.

REFERÊNCIAS

BERARDI, Patricia Calicchio. **Fatores indutores à evolução da gestão ambiental na indústria: uma abordagem pela Teoria Institucional**. 2012. Tese de Doutorado.

BELCHIOR, Miguel Corrêa. **A aplicação das metodologias Lean Seis Sigma: uma análise comparativa de estudos de casos publicados em periódicos**. Revista getec, v. 7, n. 15, 2018.

BERTOLINI, Geysler Rogis Flor; ROJO, Claudio A.; LEZANA, Alvaro GR. **Modelo de análise de investimentos para fabricação de produtos ecologicamente corretos**. Revista Gestão & Produção, São Carlos, v. 19, n. 3, p. 575-588, 2012.

CHEREM, L. F. C. **Um modelo para a predição da alteração dimensional em tecidos de malha de algodão**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. 291 p.

COGO, Marina da Cunha. **Estudo de caracterização e disposição dos resíduos de uma indústria têxtil do Estado do Rio Grande do Sul**. 2011.

CREMASCO, Marco Aurélio. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos e outros trabalhos**. Editora Blucher, 2014.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean simplificada**. Bookman Editora, 2009.

ECONODATA. Classificação e número de indústrias de Transformação em Toledo. Disponível em <http://www.econodata.com.br/lista-empresas/PARANA/TOLEDO>. Acesso em 02 de jan. 2020.

FLORISA industrial. **Classificação de fibras têxteis – 2019** – acesso em: 20 de mai. 2019.

FRANCO, Tânia; DRUCK, Graça. **Padrões de industrialização, riscos e meio ambiente**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 3, p. 61-72, 1998.

INSTITUTO AMBIENTAL DO ESTADO DO PARANÁ – IAP. Normas regulamentadoras de controle ambiental, 2018.

KUNIYOSHI, Douglas Shiguelo. **Implementação da Metodologia Lean Seis Sigma em uma empresa do setor têxtil**. 2006. Tese de Doutorado. EPUSP.

LEAL, Georla Cristina Gois; DE FARIAS, Maria Sallydelandia Sobral; ARAUJO, Aline Farias. **O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano**. Qualitas Revista Eletrônica, v. 7, n. 1, 2008.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Disponível em: <www.lean.org.br>. Acesso em: 12 mai. 2019.

MACHLINE, Claude. **Planejamento e controle de produção na indústria nacional de bens de equipamento.** Revista de Administração de Empresas, v. 25, n. 2, p. 5-28, 1985.

MAMIGONIAN, Armen. **O processo de industrialização em São Paulo.** Boletim paulista de geografia, n. 50, p. 83-102, 2017.

MARTINS, Rosane F. de F.; MERINO, Eugenio Andrés D. **A gestão de Design como estratégia organizacional.** Londrina: EDUEL, 2008.

MAZZER, Cassiana; CAVALCANTI, Osvaldo Albuquerque. **Introdução à gestão ambiental de resíduos.** Infarma-Ciências Farmacêuticas, Periódico do Conselho Federal de Farmácia, Brasília, DF, v. 16, n. 11-12, 2004.

MELO, Ivan Vieira. **Uma abordagem compreensiva ao processo de desenvolvimento industrial sustentável.** Tese de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC. Florianópolis, 2002.

NOGUEIRA, Rayra Rodrigues; COTRIM, Syntia Lemos. **Análise da implementação de Lean Seis Sigma com foco na ferramenta dmaic em uma indústria de fios.** Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP, v. 11, n. 1, 2016.

OMETTO, Aldo Roberto; SOUZA, Marcelo Pereira de; GUELERE FILHO, Américo. **A gestão ambiental nos sistemas produtivos.** Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, v. 6, p. 22-36, 2017.

PARANÁ. Instituto Ambiental do Estado do Paraná - IAP. **Diretoria de monitoramento ambiental e controle da poluição Diretoria de licenciamento de atividades poluidoras.** Curitiba, 2016.

PEÇANHA, Ricardo. **Sistemas Particulados: Operações unitárias envolvendo partículas e fluídos.** Elsevier Brasil, 2014.

PEREIRA, José Almir Rodrigues. **Geração de resíduos industriais e controle ambiental.** Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Pará, 2002.

RIPPEL, Ricardo; LIMA, J. F.; BORGES, Rosana Gaspar. **Cadeias produtivas no desenvolvimento regional: o caso de Toledo no Oeste do estado do Paraná.** Encontro de Economia Paranaense, v. 5, p. 1-21, 2007.

ROCHA, Julio Cesar; ROSA, André Henrique; CARDOSO, Arnaldo Alves. **Introdução à química ambiental.** Artmed Editora, 2009.

SANTANA, JCF de; WANDERLEY, M. J. R.; BELTRÃO, NE de M. **Tecnologia da fibra e do fio do algodão, análises e interpretações dos resultados.** EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). Algodão: Informações Técnicas. Dourados: EMBRAPA-CPAO, Campina Grande EMBRAPA-CNPA, 1998.

SANTOS, Adriana de Paula Lacerda; FERNANDES, Diego SANCHES. **Análise do impacto ambiental gerados no ciclo de vida de um tecido de malha.** Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, v. 4, n. 7, p. 1-17, 2012.

SANTOS, Carmenlucia. (2005). **Prevenção à Poluição Industrial: Identificação de oportunidades, Análise dos Benefícios e Barreiras.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SANTOS, N. M., (2010) “Fibras Têxteis” Disponível em <http://api.ning.com/files/Fibras+Txeis_Complemento.pdf> Acesso em 15 de mai. 2019.

SANTOS, Fabiana. **Arranjos e sistemas produtivos locais em “espaços industriais” periféricos: estudo comparativo de dois casos brasileiros.** Revista de Economia Contemporânea, v. 6, n. 2, p. 147-180, 2002.

Secretaria da Fazenda do município de Toledo, estado do Paraná. Disponível em <<https://www.toledo.pr.gov.br/portal/cidade-conheca-toledo/toledo-em-numeros>> Acesso em 30 ago. 2019.

SEIFFERT, M. E. B. **Sistemas de gestão ambiental (ISO 14001) e saúde e segurança ocupacional (OHSAS 18001): vantagens da implantação integrada.** CIDADE: Atlas, 2011.

SOARES, Leonardo Cirilo da Silva; DOURADO NETO, Durval. **Efeito da temperatura e chuva sobre a qualidade da fibra e produtividade de algodão no estado de Mato Grosso.** 2015.

TADINI, Carmen Cecilia; TELIS, Vânia Regina Nicoletti; DE ALMEIDA MEIRELLES, Antonio José. **Operações unitárias na indústria de alimentos.** Grupo Gen-LTC, 2016.

VENANZI, D.; LAPORTA, B. P. LEAN SIX SIGMA. **South American Development Society Journal**, v. 1, n. 2, p. 66-84, 2017.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do lean manufacturing.** Elsevier, 2011. Cap 01, p. 13.

WERKEMA, C. **DFLSS-Design for Lean Six Sigma: Ferramentas Básicas Usadas nas Etapas D e M do DMADV.** Elsevier Brasil, 2013. Cap 01, p. 13.

WERKEMA, Cristina. **Ferramentas Estatísticas Básicas do Lean Seis Sigma Integradas: PDCA e DMAIC.** Elsevier Brasil, 2016. Cap. 01, p14.

APÊNDICES

Apêndice A – Coleta de dados referente à etapa do DEFINE.

A.1. Bussines Case da Empresa X

Champion Responsável: GERENTE INDUSTRIAL	
Candidato: Joel Cordeiro Júnior Colaborador 1 Colaborador 2	Projeto nº: 001
Empresa: “EMPRESA X”	
Título do Projeto: OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DEPURAÇÃO DE PARTICULADOS NO AR	
Prazo do Projeto: <input checked="" type="checkbox"/> Médio Prazo <input type="checkbox"/> Longo Prazo	
<i>Data de Elaboração do Business Case: 01/03/2019</i>	Revisão nº: 001
Descrição do Problema/Oportunidade:	
<p>➤ Com a otimização do sistema de depuração de sólidos particulados no ar, a quantidade de partículas suspensas no ambiente de trabalho “GEMBA” irá diminuir, proporcionando uma melhoria na qualidade do ar e minimizando os casos de problemas respiratórios entre os colaboradores.</p>	
Meta Geral DESEJADA:	
<p>➤ Melhorar a captação de sólidos particulados no ar estabilizando o processo atualmente instalado.</p>	
Avaliação do Histórico do PROBLEMA:	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Carta de Controle de Vazão Mássica de Filtração Período de 06/03/2019 à 19/03/2019</p> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Conclusão: Com base no gráfico Carta de Controle para a vazão mássica de resíduo para as cinco centrais de depuração, mostra-se que o processo está fora de controle estatístico, oportunizando a aplicação de melhoria contínua no processo de depuração. Como meta melhorar sua captação de resíduos sólidos suspensos no ar melhorando sua Ecoeficiência, por meio de ferramentas do DMAIC.</p> </div>

Continuação do Apêndice A 1.

Ganhos Resultantes da Execução do Projeto (Diretos/Indiretos):
<ul style="list-style-type: none">➤ Identificar e caracterizar fontes geradoras de resíduos de sólidos em suspensão no ar;➤ Descrever as causas e consequências de problemas respiratórios de colaboradores e comunidade próxima à empresa;<ul style="list-style-type: none">➤ Validar procedimento para a medição do índice de filtragem do equipamento de tecnologia utilizado na indústria;➤ Prospectar tecnologias de tratamento e identificação de propostas de melhoria.
Possíveis Limitações:
<ul style="list-style-type: none">➤ Possíveis problemas de calibragem do equipamento em estudo;➤ Formação do colaborador e disponibilidade do mesmo para reuniões e feedback;➤ Matéria-prima com qualidade inferior no processo, acarretando mais desperdício e gerando resíduos em excesso.
Recursos a Serem Providenciados:
<ul style="list-style-type: none">➤ MINITAB 18 para o pesquisador do trabalho;➤ Equipe de funcionários para auxiliar no projeto;➤ Sala para reuniões e discussão das etapas do projeto.

Fonte: O Autor, 2019.