

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JOSÉ CARLOS DA SILVA SANTOS

**A BUSCA PELA SUSTENTABILIDADE EM UM PROCESSO INDUSTRIAL:
MODELO DE INTEGRAÇÃO DA TÉCNICA SEIS SIGMA COM ASPECTOS SOCIAIS
E AMBIENTAIS**

São Paulo

2018

JOSÉ CARLOS DA SILVA SANTOS

**A BUSCA PELA SUSTENTABILIDADE EM UM PROCESSO INDUSTRIAL:
MODELO DE INTEGRAÇÃO DA TÉCNICA SEIS SIGMA COM ASPECTOS SOCIAIS
E AMBIENTAIS**

Tese apresentada ao programa de doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Prof. Wagner Cezar Lucato, Dr. - Orientador

São Paulo

2018

Santos, José Carlos da Silva.

A busca pela sustentabilidade em um processo industrial: modelo de integração da técnica Seis Sigma com aspectos sociais e ambientais. / José Carlos da Silva Santos. 2018.

174 f.

Tese (doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2018.

Orientador (a): Prof. Dr. Wagner Cezar Lucato.

DMAIC. 2. Seis Sigma. 3. Tripé da sustentabilidade.

Lucato, Wagner Cezar. II. Título

CDU 658.5

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

DE

José Carlos da Silva Santos

Título da Tese: A Busca pela Sustentabilidade em um Processo Industrial: Modelo de Integração da Técnica Seis Sigma com Aspectos Sociais e Ambientais.

A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) José Carlos da Silva Santos Aprovado.

São Paulo, 18 de dezembro de 2018.

Prof(a). Dr(a). Wagner Cezar Lucato (PPGEP/UNINOVE) - Orientador



Prof(a). Dr(a). Jose Benedito Marcomini (SMM-EESC-USP) - Membro Externo



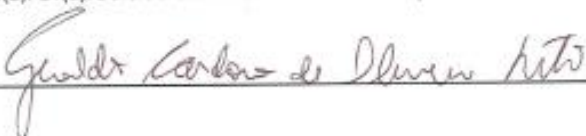
Prof(s). Dr(a). Cleber Gustavo Dias (PPGI/UNINOVE) - Membro Externo



Prof(a). Dr(a). Rosângela Maria Vanalle (PPGEP/UNINOVE) - Membro Interno



Prof(a). Dr(a). Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (PPGEP/UNINOVE) - Membro Interno



Dedico este trabalho primeiramente ao meu filho Matheus, que sempre me motivou a ser um bom exemplo de pai e a minha esposa Roselaine que sempre me apoiou nessa jornada.

Dedico também aos meus pais que sempre me apoiaram e não menos importante, o meu orientador que acreditou e me incentivou, permitindo que eu pudesse realizar este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por me permitir concluir mais uma etapa da minha missão, me dando saúde, força e sabedoria.

Meus agradecimentos a minha família que sempre foram pacientes, compreensivos e me apoiaram nesta jornada.

Agradeço aos meus amigos que me acompanharam nessa jornada, sempre me motivando e encorajando.

Aos amigos Ricardo Ultiyama, Filipe Paoli e Fernando que de alguma forma sempre contribuíram para o meu crescimento profissional e acadêmico.

Aos meus amigos Amanda, Flávio, Renato e Rogério do programa de pós-graduação que sempre me apoiaram ao longo do curso.

Aos professores do programa que contribuíram para meu crescimento na área acadêmica.

Meus agradecimentos à empresa, e em especial ao meu Diretor que permitiu a aplicação deste trabalho.

Por fim, um agradecimento em especial ao meu orientador, que ao longo desses anos se tornou um amigo. Pessoa essa, que sempre me motivou a buscar conhecimento.

RESUMO

Nos últimos anos os clientes, investidores e a sociedade têm buscado por empresas que além de rentáveis, sejam conscientes em relação ao meio ambiente e a responsabilidade social. Desde então, a busca pelo equilíbrio entre as dimensões econômicas, ambientais e sociais tem sido incorporadas nas grandes empresas. A literatura tem mostrado que algumas empresas estão interessadas além de avaliar o nível de sustentabilidade da empresa como um todo, melhorar os seus processos levando em consideração as três dimensões da sustentabilidade. Contudo, as iniciativas para avaliação da sustentabilidade sofrem com duas limitações, ou seja, aplicáveis apenas para avaliação da sustentabilidade da empresa como um todo, ou consideram os aspectos da sustentabilidade de maneira separada, sem uma integração, o que as tornam inadequadas para avaliar e melhorar a sustentabilidade em um processo industrial. Com o objetivo de resolver esta questão, esse estudo propôs um modelo de integração da técnica Seis Sigma com as variáveis sociais e ambientais como forma de possibilitar ganhos expressivos nas dimensões ambientais, econômicas e sociais. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura acerca do tema. Definido um modelo para integração das variáveis sociais e ambientais na técnica Seis Sigma, especificamente no método DMAIC. Para alcançar este objetivo, se fez necessário também à proposição de um indicador para medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial, de forma a obter um único resultado. Para possibilitar a aplicação do modelo aqui proposto à situação do mundo real, o modelo proposto foi aplicado em um processo de usinagem de uma empresa do ramo metal mecânico. Com os resultados alcançados por meio da aplicação do modelo no processo de usinagem, permitiu concluir que a integração da técnica Seis Sigma, especificamente o método DMAIC integrado com as variáveis sociais e ambientais pode contribuir de forma significativa para o aumento do nível de sustentabilidade de um processo industrial e, como consequência, o da empresa como um todo. Como ganhos para área de conhecimento podemos destacar a integração das variáveis ambientais e sociais à técnica Seis Sigma (DMAIC).

Palavras chave: DMAIC, Seis Sigma, Sustentabilidade, Tripé da sustentabilidade

ABSTRACT

In recent years, customers, investors and society have been looking for companies that are not only profitable, but also conscious of the environment and social responsibility. Since then, the search for the balance between economic, environmental and social dimensions has been incorporated in large companies. The literature has shown that some companies are interested not only to evaluate the level of sustainability of the company as a whole, but also to improve its processes taking into account the three dimensions of sustainability. However, sustainability assessment initiatives suffer from two limitations, that is, they only apply to assessing the sustainability of the company as a whole, or consider sustainability aspects separately, without integration, making them unsuitable for assessing and sustainability in an industrial process. In order to solve this question, this study proposed a model of integration of the Six Sigma technique with the social and environmental variables as a way to enable significant gains in the environmental, economic and social dimensions. For this, a systematic review of the literature on the topic was carried out. A model for integration of social and environmental variables was defined in the Six Sigma technique, specifically in the DMAIC method. In order to achieve this objective, it was also necessary to propose an indicator to measure the level of sustainability of an industrial process, in order to obtain a single result. To enable the application of the model proposed here to the real world situation, the proposed model was applied in a machining process of a metal mechanic company. With the results obtained through the application of the model in the machining process, it was concluded that the integration of the Six Sigma technique, specifically the DMAIC method integrated with the social and environmental variables can contribute significantly to the increase of the level of sustainability of a industrial process and, as a consequence, that of the company as a whole. As gains for the area of knowledge we can highlight the integration of environmental and social variables to the Six Sigma technique (DMAIC).

Key-words: DMAIC, Six Sigma, Sustainability, Triple bottom line.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A estrutura da tese.....	25
Figura 2 - O modelo Azapagic.....	33
Figura 3 - O modelo de Labuschagne, Brent e Erck.	34
Figura 4 - O modelo de Fiksel, McDaniel e Mendenhall.....	39
Figura 5 - O modelo de IChemE.....	40
Figura 6 - O modelo adaptado de GRI	41
Figura 7 – Curva em forma de sino	44
Figura 7 - As interfaces entre <i>Lean</i> , Seis Sigma e Sustentabilidade.....	56
Figura 8 - As interfaces entre <i>Lean</i> , Seis Sigma e Sustentabilidade.....	57
Figura 10 – O sistema de referência ortogonal cartesiano R3 proposto por este trabalho.	69
Figura 11 - Desenvolvimento dos projetos com a pesquisa-ação	74
Figura 12 – Anel de encosto B312	76
Figura 13 – Área do triângulo antes do Seis Sigma	81
Figura 14 – Diagrama de causa e efeito: Peças semi-acabadas entregue em atraso	94
Figura 15 – Diagrama de causa e efeito: Número de ocorrências de manutenção...98	
Figura 16 – Capabilidade do processo.....	99
Figura 17 – Diagrama de causa e efeito: Capabilidade do processo	100
Figura 18 – Diagrama de causa e efeito: Ajuste de <i>setup</i> durante a usinagem	102
Figura 19 – Diagrama de causa e efeito: Percentual de não conforme.....	107
Figura 20 – Capabilidade do processo após melhorias.....	111
Figura 21 – Área do triângulo após o Seis Sigma	117
Figura 22 – Diagrama de causa e efeito: Consumo de óleo solúvel	130
Figura 23 – Diagrama de causa e efeito: Iluminação	132
Figura 24 – Diagrama de causa e efeito: Consumo de energia elétrica.....	134
Figura 25 – Diagrama de causa e efeito: Geração de cavaco de usinagem	137
Figura 26 – Diagrama de causa e efeito: Consumo de inserto de usinagem	139
Figura 27 – Diagrama de causa e efeito: Acidente de trabalho – perfuração com cavaco.....	142
Figura 28 – Diagrama de causa e efeito: Acidente de trabalho – corte com rebarbas no <i>blank</i>	143

Figura 29 – Área do triângulo após Seis Sigma modificado	160
Figura 30 – Comparação das áreas dos triângulos	163

Gráfico 1 - Baseline e meta do projeto	82
Gráfico 2 – Vida útil do inserto de usinagem	92
Gráfico 3 – Peças semi-acabadas entregue em atraso.....	93
Gráfico 4 – Disponibilidade dos equipamentos de medição	95
Gráfico 5 – Disponibilidade dos dispositivos	96
Gráfico 6 – Número de ocorrências de manutenção / alarmes	97
Gráfico 7 – Ajuste de <i>setup</i> durante a usinagem.....	101
Gráfico 8 – Número de interrupções para abastecimento de óleo solúvel	103
Gráfico 9 – Tempo de medição	104
Gráfico 10 – Tempo de ciclo.....	105
Gráfico 11 – Percentual de peças não conforme	106
Gráfico 12 – Número de ocorrências de manutenção / alarmes	112
Gráfico 13 – Ajuste de <i>setup</i> durante a usinagem.....	113
Gráfico 14 – Tempo de medição	114
Gráfico 15 – Quantidade de peças produzidas após as melhorias	114
Gráfico 16 – Consumo de óleo solúvel.....	129
Gráfico 17 – Iluminação	131
Gráfico 18 – Consumo de energia elétrica	133
Gráfico 19 – Consumo de energia elétrica (peças / kWh)	133
Gráfico 20 – Horas de treinamento	136
Gráfico 21 – Geração de resíduo de cavaco	136
Gráfico 22 – Consumo de inserto.....	138
Gráfico 23 – Afastamento do trabalho.....	140
Gráfico 24 – Ocorrências de acidente	141
Gráfico 25 – Ruído	144
Gráfico 26 – Consumo de óleo solúvel.....	150
Gráfico 27 – Iluminação	151
Gráfico 28 – Consumo de energia elétrica	152
Gráfico 29 – Consumo de energia elétrica (peças / kWh)	152
Gráfico 30 – Geração de resíduo de cavaco	153
Gráfico 31 – Consumo de inserto de usinagem	154
Gráfico 32 – Afastamento do trabalho.....	155
Gráfico 33 – Tempo de ciclo após Seis Sigma modificado	156

Gráfico 34 – Quantidade de peças produzidas após projeto Seis Sigma modificado

..... 156

Quadro 1 - Palavras chave utilizadas (modelo de medição)	27
Quadro 2 – Modelos selecionados	29
Quadro 3 – Patrocinadores e especialistas	45
Quadro 4 – Fase “ <i>Define</i> ”	47
Quadro 5 – Fase “ <i>Measure</i> ”	48
Quadro 6 – Fase “ <i>Analyze</i> ”	50
Quadro 7 – Fase “ <i>Improve</i> ”	51
Quadro 8 – Fase “ <i>Control</i> ”	52
Quadro 9 - Palavras chave utilizadas (Seis Sigma x Sustentabilidade)	53
Quadro 10 – Artigos selecionados	55
Quadro 11 - Exemplo de Project Charter considerando as variáveis ambientais e sociais	62
Quadro 12 – Exemplo de <i>SIPOC</i> considerando as variáveis de processos, ambientais e sociais	63
Quadro 13 - <i>Project Charter</i> do projeto Seis Sigma tradicional	83
Quadro 14 - <i>SIPOC</i> do projeto Seis Sigma tradicional	85
Quadro 15 – Matriz de oportunidade e risco do projeto Seis Sigma tradicional	86
Quadro 16 – <i>SIPOC</i> x Indicadores para o projeto Seis Sigma tradicional	87
Quadro 17 – Plano de medição para os indicadores de entrada (projeto Seis Sigma tradicional)	88
Quadro 18 – Plano de medição para os indicadores de processo (projeto Seis Sigma tradicional)	89
Quadro 19 – Plano de medição para os indicadores de saída (projeto Seis Sigma tradicional)	90
Quadro 20 – Avaliação do sistema de medição (parâmetros de usinagem)	91
Quadro 21 – Matriz de causa e efeito: peças semiacabadas entregues em atraso ..	94
Quadro 22 – Matriz de causa e efeito: Número de ocorrências de manutenção / alarme	98
Quadro 23 – Matriz de causa e efeito: Capacidade do processo	100
Quadro 24 – Matriz de causa e efeito: Ajuste de <i>setup</i> durante a usinagem	102
Quadro 25 – Matriz de causa e efeito: Percentual de não conforme (planicidade fora do especificado)	107
Quadro 26 – Plano de ação para peças semiacabadas entregue em atraso	108
Quadro 27 – Plano de ação para capacidade do processo fora do especificado ..	109

Quadro 28 – Plano de ação para números de ocorrências de manutenção	110
Quadro 29 – Plano de ação para ajuste de <i>setup</i> durante a produção	110
Quadro 30 – Plano de controle.....	115
Quadro 31 - <i>Project Charter</i> do projeto Seis Sigma modificado (Seis Sigma sustentável).....	119
Quadro 32 - <i>SIPOC</i> do projeto Seis Sigma modificado	121
Quadro 33 – Matriz de oportunidade e risco do projeto Seis Sigma modificado	122
Quadro 34 – SIPOC x Indicadores para o projeto Seis Sigma modificado.....	124
Quadro 35 – Plano de medição para os indicadores de entrada (projeto Seis Sigma modificado).....	126
Quadro 36 – Plano de medição para os indicadores de processo (projeto Seis Sigma modificado).....	127
Quadro 37 – Plano de medição para os indicadores de saída (projeto Seis Sigma modificado).....	128
Quadro 38 – Matriz de causa e efeito: consumo de óleo solúvel	130
Quadro 39 – Matriz de causa e efeito: Iluminação	132
Quadro 40 – Matriz de causa e efeito: Consumo de energia elétrica	135
Quadro 41 – Matriz de causa e efeito: Geração de resíduo de cavaco de usinagem	138
Quadro 42 – Matriz de causa e efeito: Consumo de inserto de usinagem	139
Quadro 43 – Matriz de causa e efeito: Acidente de trabalho – perfuração com cavaco	142
Quadro 44 – Matriz de causa e efeito: Acidente de trabalho – corte com rebarbas no <i>blank</i>	143
Quadro 45 – Plano de melhoria para o consumo de óleo solúvel	145
Quadro 46 – Plano de melhoria para Iluminação	146
Quadro 47 – Plano de melhoria para o consumo de energia elétrica, geração de cavaco e consumo de inserto de usinagem	147
Quadro 48 – Plano de melhoria para perfurações com cavacos de usinagem	148
Quadro 49 – Plano de melhoria para cortes com rebarbas no <i>blank</i>	149
Quadro 50 – Plano de controle após projeto Seis Sigma modificado.....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de artigos encontrados nas diversas bases de dados.....	28
Tabela 2 - Número de artigos encontrados nas bases de dados	54
Tabela 3 – Indicadores iniciais de sustentabilidade utilizados para a máquina de usinagem CNC	77
Tabela 4 - Sustentabilidade antes do projeto Seis Sigma	80
Tabela 5 - Sustentabilidade após o projeto Seis Sigma convencional	118
Tabela 6 - Sustentabilidade após o projeto Seis Sigma modificado.....	161
Tabela 7 - Evolução do nível de sustentabilidade	162

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	21
1.2. OBJETIVOS	22
1.2.1. Geral	22
1.2.2. Específicos	22
1.3. JUSTIFICATIVA PARA ESTUDO DO TEMA	23
1.4. METODOLOGIA	24
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1. MODELOS PARA MEDIÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE UM PROCESSO INDUSTRIAL	26
2.2. A TÉCNICA SEIS SIGMA	42
2.3. O DMAIC.....	46
2.4. O SEIS SIGMA E A SUSTENTABILIDADE	53
3. MODELO DE INTEGRAÇÃO DA TÉCNICA SEIS SIGMA (DMAIC) COM VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SOCIAIS.....	60
3.1. PROPOSTA PARA MEDIÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE UM PROCESSO INDUSTRIAL	66
4. MÉTODO DE PESQUISA	72
4.1. A ESCOLHA DO MÉTODO DE PESQUISA	72
4.2. O PLANEJAMENTO DA AÇÃO	74
5. A PESQUISA-AÇÃO	78
5.1. O NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE ANTES DO PROJETO SEIS SIGMA.....	78
5.2. PROJETO SEIS SIGMA TRADICIONAL	81
5.2.1. Fase Definir	82
5.2.2. Fase Medir	86
5.2.3. Fase Analisar.....	91
5.2.4. Fase Melhorar.....	108
5.2.5. Fase Controlar	114
5.2.6. Resultado do ciclo 1 da pesquisa-ação	115
5.3. PROJETO SEIS SIGMA MODIFICADO (SEIS SIGMA SUSTENTÁVEL).....	118
5.2.1. Fase Definir	118
5.2.2. Fase Medir.....	122

5.2.3. Fase Analisar.....	128
5.2.4. Fase Melhorar.....	144
5.2.5. Fase Controlar.....	156
5.2.6. Resultado do ciclo 2 da pesquisa-ação.....	158
5.3. Discussão.....	161
6. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.	165
REFERÊNCIAS.....	167

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas nota-se que as empresas têm sido cobradas em relação aos fatores ambientais, sociais e econômicos, os investidores e a sociedade estão mais conscientes em relação à sustentabilidade (BASTAS E LIYANAGE, 2018; GARCIA et al., 2016; RAJEEV et al., 2017; VITAL, 2009). Com isso, nos últimos anos o conceito de sustentabilidade têm se tornado cada vez mais importante, tanto na teoria quanto na prática organizacional (LINNENLUECKE; GRIFFITHS, 2010; HAHN; FIGGE, 2011). Em linha com este pensamento, os investidores têm procurado empresas que, além de rentáveis, sejam conscientes em relação ao meio ambiente e à responsabilidade social. Com isso, investidores consideram que empresas sustentáveis podem render um valor maior no longo prazo, pois estão muito mais preparadas para enfrentar qualquer tipo de crise econômica e socioambiental (KOCMANOVÁ; DOČEKALOVÁ, 2012).

Segundo Elkington (1998), para a organização ter sucesso futuramente, ela não somente terá que ter capacidade para satisfazer a dimensão econômica, mas também, as outras duas dimensões: uma voltada para a melhoria da qualidade ambiental e outra para justiça social. Além do mais, o autor afirma que a sustentabilidade deve assegurar que as ações presente não prejudiquem o alcance econômico, ambiental e social para as gerações futuras.

Desta forma, torna-se inviável manter o conceito de políticas econômicas que causam danos ambientais irreversíveis (TACHIZAWA, 2010), desde então, a busca pelo equilíbrio entre o valor econômico, ambiental e social (*triple bottom line*) tem sido incorporada pelas grandes organizações (CRUZ; BOEHE, 2010), para garantir o bem-estar atual das pessoas sem afetar negativamente as gerações futuras (TINOCO, 2010). Como forma de demonstrar seu comprometimento com a sustentabilidade, as grandes empresas têm criado organizações, como o WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*), a Ceres (*Caux Round Table*) etc. além, de cartas de princípios e diretrizes de ação, como a carta de Rotterdam, as metas do milênio e o pacto global (BARBIERI et al., 2010).

Há algum tempo a sustentabilidade não se limita apenas a benefícios ambientais e sociais, pois ela tem também trazido uma melhora no valor econômico

das empresas (FIKSEL; MCDANIEL; MANDENHALL, 1999). Para Silva et al. (2009), a aplicação do conceito de sustentabilidade para as organizações tem representado uma nova forma de se fazer negócios, nos quais são promovidas a responsabilidade social, a redução dos impactos ambientais, e a preservação das gerações futuras, sem deixar de lado o ganho econômico da organização. Observada a literatura do ponto de vista teórico-prático, a literatura tem apresentado diversos modelos para a avaliação da sustentabilidade das empresas conforme detalhado no capítulo 2 desta tese (Revisão bibliográfica). Porém, a literatura também mostra que algumas organizações estão interessadas em melhorar seus processos de fabricação levando em consideração as três dimensões da sustentabilidade (ARAUJO, 2010). Assim, além de avaliar a sustentabilidade das empresas como um todo, a revisão bibliográfica realizada também mostrou várias iniciativas para medir a sustentabilidade dos processos industriais, seguindo o raciocínio de que os gestores de Produção e de Operações necessitam dispor de ferramentas que permitam a eles avaliar como suas ações gerenciais estão contribuindo para a melhoria do *triple bottom line* das suas respectivas empresas (VELEVA;& ELLENBECKER, 2001; LABUSCHAGNE, 2005; TSENG et al. 2009; JUNG et al. 2013; SUBIC et al. 2013; SHANKAR et al. 2016).

Contudo, a literatura também permitiu verificar que as iniciativas de avaliação da sustentabilidade sofrem invariavelmente de uma dentre duas limitações (em alguns casos das duas): a) elas são aplicáveis somente para a empresa como um todo, o que as torna inadequadas para avaliar a sustentabilidade de um processo industrial, e/ou b) elas consideram os aspectos de sustentabilidade de maneira separada sem uma integração entre elas. Isso pode representar uma dificuldade metodológica no caso em que diferentes indicadores de sustentabilidade evoluam em sentidos opostos. Esclarecendo por meio de um exemplo: se uma decisão gerencial implementa uma ação para melhorar o desempenho ambiental de uma empresa ou de um processo, resultando em custos adicionais (que reduzem os lucros e o desempenho econômico), o que ocorreu com a sustentabilidade como um todo? Melhorou? Piorou? Ou ficou constante? Sem uma medida única que integre os três aspectos da sustentabilidade, não há como se responder a esse questionamento.

Alinhado a este conceito de melhoria do processo, a técnica Seis Sigma vem conquistando nas organizações cada vez mais espaço, com seu método bastante eficaz para solução de problemas no processo por meio da redução da variabilidade dos processos. Essa técnica tem evoluído conceitualmente e tem ganhado cada vez mais espaço nas organizações no que tange às ações gerenciais e estratégicas necessárias para sua implantação (ARUMUGAM; ANTONY; LINDERMAN, 2016). Os resultados são facilmente alcançados com a técnica Seis Sigma, pois seu método estruturado facilita de forma rápida e eficiente uma série de benefícios para a organização, tais como: aumento da lucratividade, aumento da satisfação dos clientes, redução da variabilidade do processo, melhoria do nível de qualidade e maior envolvimento dos colaboradores envolvidos no projeto (ROTONDARO et al., 2010).

Para Antony (2006), Erdil et al. (2018), Pyzdek (2003) e Werkema (2010), a técnica Seis Sigma segue um procedimento denominado DMAIC, procedimento este que segue 5 etapas: *Define, Measure, Analyze, Improve* e *Control*. Em detalhes, na primeira fase, “*Define*” o especialista do projeto, denominado *Black Belt* reúne a equipe para condução do projeto. Nesta fase, o Black Belt define com a equipe as oportunidades de ganhos e riscos, e também delimita o escopo do projeto. Na fase seguinte, “*Measure*”, a equipe realiza o mapeamento do processo e define o plano de medição para a coleta dos dados, que serão utilizados na etapa seguinte. Na fase “*Analyze*” os dados coletados na etapa anterior são analisados por meio de poderosas ferramentas estatísticas, que em sua maioria apoiadas no software Minitab® ou equivalente, com o propósito de identificar as prováveis causas raízes correlacionadas com os problemas. Após as análises estatísticas dos dados na fase anterior, na fase seguinte “*Improve*” a equipe propõe e implementa os planos de melhorias baseado nas causas raízes detectadas. E por último, na fase “*Control*” é desenvolvido um plano de controle para monitorar os resultados alcançados com o projeto em questão, o objetivo principal é garantir que esses resultados se perpetuem ao longo dos anos. Nesta etapa o “*Process Owner*” (dono do processo) normalmente é designado como responsável por monitorar e manter os resultados alcançados.

De acordo com Hilton et al (2012) e Zu et al (2008), a técnica Seis Sigma por seu método estruturado, busca reduzir a variabilidade do processo nas empresas,

isso tem feito com que diversas empresas alcancem resultados significativos, resultando em milhões de dólares em ganhos.

Na maioria dos projetos, a técnica Seis Sigma tem sido aplicada em processos técnicos, contudo, Rotondaro et al. (2010) explica que a técnica Seis Sigma pode ser aplicada também em processos não técnicos. Para um processo de fabricação ser considerado como técnico seu fluxo precisa ser visível e tangível, nesse processo é fácil de identificar as entradas e saídas, neste caso, normalmente têm-se como entrada as peças, montagens, etc. e como saídas um produto final, diante disso, as oportunidades são imensas para medições e coleta de dados (SLACK, 1999). Contudo, um processo não técnico na maioria das vezes é difícil de ser visualizado. Processos não técnicos podem ser definidos como processos administrativos, serviços ou transações, e neles, as entradas e variáveis podem não ser tangíveis. Esses certamente são processos e tratando-os como tal é possível melhorá-los e controlá-los. Pela facilidade de medir e coletar dados as empresas na maioria das vezes optam por realizar projetos em processos técnicos, como: melhoria da qualidade do produto, redução do tempo de ciclo e redução do tempo de preparação de máquinas (*setup*), etc.

No entanto, na revisão bibliográfica realizada mostrou que praticamente inexistem iniciativas que tragam uma visão prática da contribuição da técnica Seis Sigma para a melhoria do nível de sustentabilidade, principalmente, no contexto dos processos produtivos. De fato, a aplicação dos projetos Seis Sigma tem focado as melhorias nas variáveis de processos, tais como: mão de obra, níveis de perdas, tempo de ciclo, etc. Embora relevante, os aspectos ambientais e sociais não têm sido considerados durante os projetos nos processos de manufatura, o que pode ser considerado uma oportunidade para aplicação da técnica Seis Sigma na melhoria do nível de sustentabilidade dos processos industriais.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Como se pode observar nas considerações feitas, há duas claras lacunas identificadas na literatura que se revelaram como interessantes oportunidades de pesquisa que esta tese pretendeu aproveitar: a) inexistem modelos de avaliação da sustentabilidade de processos industriais que integrem em uma única grandeza os

três aspectos do *triple bottom line* (econômico, ambiental e social), e b) praticamente inexistem iniciativas de utilização do Seis Sigma para a melhoria do nível de sustentabilidade dos processos de manufatura.

Assim, para responder às lacunas identificadas na literatura, esse trabalho propõe resolver a seguinte questão:

A aplicação da técnica Seis Sigma integrada aos aspectos sociais e ambientais em um processo produtivo industrial pode resultar em uma ferramenta adequadamente utilizada pode promover a melhoria do nível da sustentabilidade desse processo e, por consequência, da empresa como um todo?

Como premissa básica de resposta provável e provisória à questão enunciada, o trabalho aqui proposto irá buscar confirmar a seguinte proposição:

Se for possível definir um indicador único que integre os três aspectos da sustentabilidade, então será possível aplicar a esse processo a técnica Seis Sigma considerando os aspectos ambientais e sociais de modo a poder avaliar a questão inicialmente formulada.

1.2. OBJETIVOS

Assim para responder à questão proposta por esta tese, e avaliar a proposição aparente estabelecida, os seguintes objetivos serão considerados:

1.2.1. Geral

O objetivo geral desta tese é integrar a técnica Seis Sigma (DMAIC) com as variáveis ambientais e sociais com foco na melhoria do nível de sustentabilidade de um processo industrial e da empresa como todo.

1.2.2. Específicos

Para isso foi necessário definir alguns objetivos específicos:

- Identificar as dimensões teóricas relevantes a serem consideradas na sustentabilidade empresarial por meio de uma ampla pesquisa bibliográfica;
- Propor uma forma para medir o nível de sustentabilidade de um processo industrial;
- Identificar as fases de integração das variáveis sociais e ambientais dentro da técnica Seis Sigma, especificamente no DMAIC.
- Estabelecer um modelo que integre na técnica Seis Sigma (DMAIC) as variáveis ambientais e sociais.
- Realizar pesquisa de campo por meio da pesquisa-ação em indústria do setor metal mecânico para verificar a aplicabilidade do modelo proposto a situação do mundo real. Dessa experiência, pretende-se extrair conhecimentos que possam gerar melhorias no modelo proposto e sugerir eventuais diretrizes estratégicas a serem observada pela indústria envolvida para uma melhoria de seu nível de sustentabilidade.

1.3. JUSTIFICATIVA PARA ESTUDO DO TEMA

A literatura tem mostrado que a técnica Seis Sigma tem trazido para as indústrias resultados financeiros significativos por meio da redução da variabilidade dos processos. Contudo, as aplicações dos projetos Seis Sigma têm sido focadas sobre as variáveis dos processos, de tal forma, que não é dada uma ênfase sobre as questões ambientais e sociais (ERDIL et al., 2018). Por outro lado, os investidores e a sociedade têm buscado por empresas que buscam associar o fator econômico com os aspectos ambientais e sociais, ou seja, produzir mais gastando menos, minimizando os impactos ambientais e melhorando o bem estar social.

Com isso, as empresas têm buscado por ferramentas de melhorias que contribuam não só na melhoria dos processos, mas leve em consideração os aspectos ambientais e sociais (SANTOS et al. 2018). Desta forma, a aplicação de projetos Seis Sigma integrado com as variáveis ambientais e sociais tem como propósito, durante a aplicação de um projeto Seis Sigma, melhorar as variáveis do processo e diminuir os impactos ambientais decorrentes das atividades e também aumentar o bem-estar social, tornando o processo mais sustentável, ou seja, produzir mais, com maior qualidade, maior bem-estar dos colaboradores e agredindo menos o meio ambiente.

Por essas razões, considera-se relevante a proposta deste trabalho em procurar determinar um modelo para a melhoria do nível de sustentabilidade de um processo por meio da integração da técnica Seis Sigma com os aspectos sociais e ambientais, como forma alternativa para as indústrias aumentarem sua competitividade por meio do aumento do nível de sustentabilidade de seus processos.

1.4. METODOLOGIA

Neste trabalho foi inicialmente realizada uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar a lacuna de pesquisa. A revisão bibliográfica foi realizada acerca dos temas que envolvem sustentabilidade, modelo para medição da sustentabilidade e a técnica Seis Sigma, com foco na melhoria do processo, ambiental e social.

Em seguida este trabalho desenvolveu dois conceitos teóricos: a) a proposição de um indicador único para medir o nível de sustentabilidade de um processo industrial e b) a proposta de integração das variáveis ambientais e sociais à técnica Seis Sigma, especificamente no DMAIC, como forma de introduzir a consideração dos aspectos ambientais e sociais durante um projeto de melhoria do processo.

Com o propósito de verificar a aplicabilidade desses conceitos a situação do mundo real, realizou-se também uma pesquisa-ação. Tal metodologia foi selecionada, pois o pesquisador em questão participa diretamente da equipe para a resolução do problema.

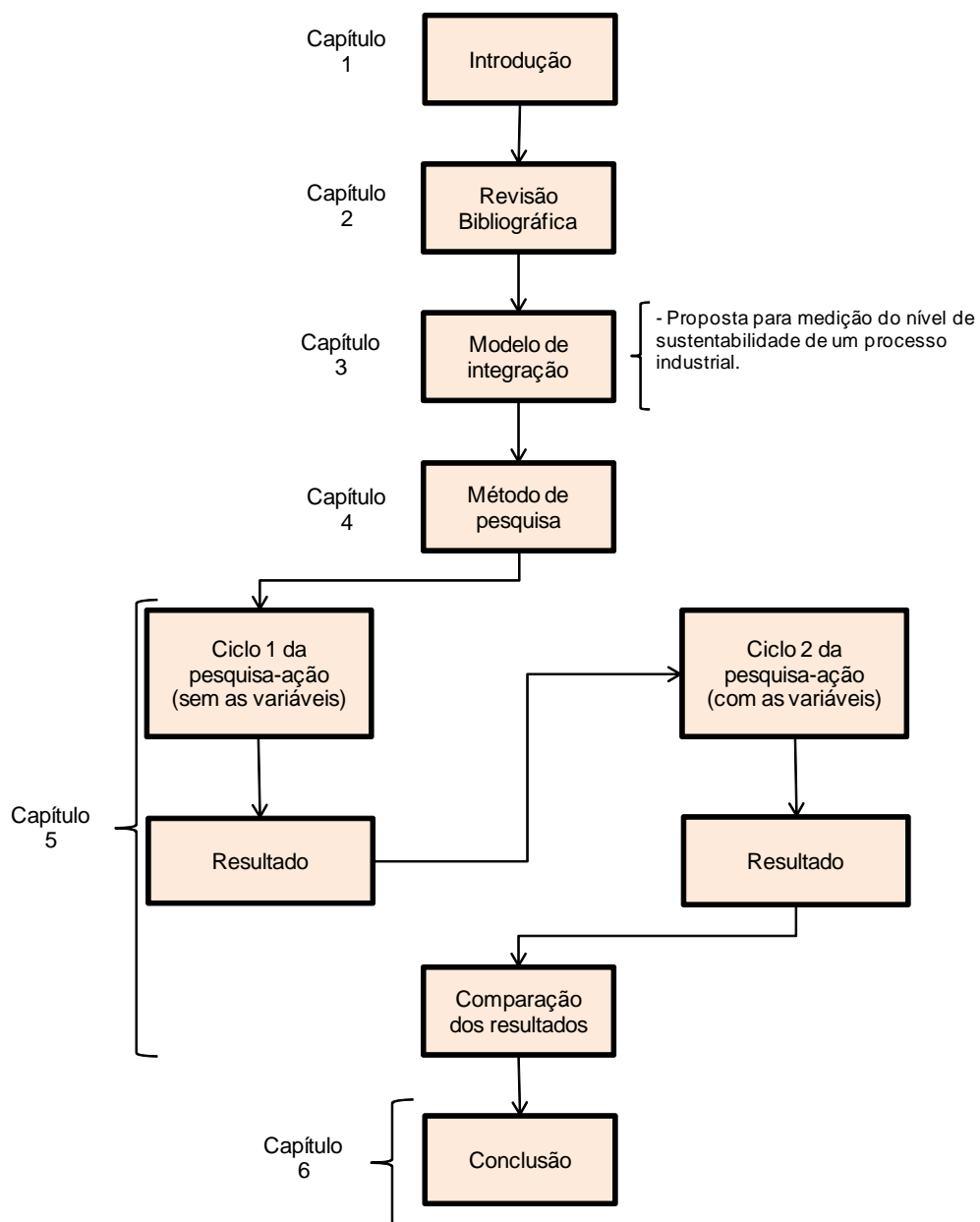
A metodologia de pesquisa para este trabalho está detalhada no capítulo 4.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Com o propósito de atender os objetivos desta tese, este trabalho foi estruturado em seis capítulos. No primeiro capítulo foi desenvolvida a introdução. No segundo capítulo, a realização da revisão sistemática e uma revisão bibliográfica acerca do tema, com o objetivo de identificar as lacunas de pesquisa, assim como, identificar o estado da arte dos conceitos relacionados ao tema deste trabalho. No seguinte capítulo foi proposto um modelo para a integração dos aspectos ambientais

e sociais à técnica Seis Sigma, bem como, o método para medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial. O método de pesquisa foi definido no quarto capítulo. No capítulo seguinte foi testada a aplicabilidade do modelo à situação do mundo real, por meio de uma pesquisa-ação. E por fim, no último capítulo, realizada a conclusão deste trabalho, assim como, suas limitações e oportunidades de pesquisas futuras. Na Figura 1 é possível verificar resumidamente a estrutura desta tese.

Figura 1 - A estrutura da tese



Fonte: Elaborado pelo autor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para este trabalho foi realizada uma revisão sistemática da literatura com o propósito de identificar a evolução das publicações relativas à medição e melhoria do nível de sustentabilidade em um processo industrial, publicadas nos últimos anos e identificar uma lacuna que possibilite o desenvolvimento desta tese de doutorado. Em seguida, procedeu-se com uma revisão da literatura que tratou dos temas centrais: modelos para medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial, a técnica Seis Sigma, o Seis Sigma e a sustentabilidade. O objetivo foi identificar o estado da arte para os temas abordados.

2.1. MODELOS PARA MEDIÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE UM PROCESSO INDUSTRIAL

O conceito de sustentável tem sido abordado por diversos autores ao longo desses últimos anos, na sua essência, com o objetivo de assegurar as necessidades da humanidade no presente, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. A Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento definiu este conceito em 1987 (GLAVIC, LUKMAN 2007).

Para Elkington (1998), medir a sustentabilidade deve ir além das medidas tradicionais de retorno de investimentos e lucros, para isso, criou o *triple bottom line* (TBL), no qual, além da dimensão econômica, foram acrescentadas as dimensões ambiental e social, com o propósito de medir o desempenho inter-relacionado dos lucros, pessoas e planeta. A dimensão ambiental objetiva minimizar os impactos ao meio ambiente decorrentes das atividades da empresa, enquanto, a dimensão econômica procura tornar a atividade economicamente viável, por outro lado, a dimensão social se preocupa com os direitos e ações justas para os colaboradores, sociedade e investidores.

Com o objetivo de identificar a evolução das publicações relativas à medição e melhoria do nível de sustentabilidade em um processo industrial, publicadas nos últimos anos e identificar uma lacuna para o desenvolvimento desta tese de doutorado foram consultadas oito bases de dados, sendo elas: Capes, Compendex, Emerald, Scielo (web of Science), Science Direct, Scopus, Taylor & Francis e Wiley Library, com o objetivo de extrair os artigos correspondentes às palavras chave

definidas no Quadro 1. Durante a seleção das bases, restringiu-se apenas na análise de periódicos, desta forma não incluiu a produção científica de anais de congressos e eventos. Como resultado, foi possível obter os resultados conforme detalhados na tabela 1.

Quadro 1 - Palavras chave utilizadas (modelo de medição)

Palavras Chave
"sustainability indicator""measuring sustainability""production process"
"sustainability indicator""sustainability measurement""production process"
"social indicator""sustainability measurement""production process"
"sustainable indicator""sustainability measurement""production process"
"social indicator""sustainability measurement""sustainable indicator"
"sustainability indicator""sustainable index""production process"
"sustainability index""sustainable indicator""model sustainable"
"sustainability index""sustainability measurement""production process"
"sustainable index""sustainability measurement""sustainability model"
"sustainability model""sustainability measurement""production process"
"sustainability model""sustainable index""production process"
"sustainability indicator""sustainability framework""production process"
"sustainable index""framework for sustainability""model sustainability"
"sustainable index""sustainability framework""sustainability measurement"
"sustainability framework""sustainability measurement""production process"
"sustainability framework""sustainability measurement""sustainability index"

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como resultado foram encontrados 348 artigos correspondentes às palavras chave definidas, como resume a Tabela 1.

Tabela 1 - Número de artigos encontrados nas diversas bases de dados

Palavras chave	Science Direct	Emerald	Capes	Scopus	Compendex	Taylor & Francis	Scielo (Web of science)	Wiley Library
"sustainability indicator""sustainability measurement""production process"	15	0	6	0	0	2	0	0
"social indicator""sustainability measurement""production process"	7	0	5	0	0	0	0	0
"sustainable indicator""sustainability measurement""production process"	15	0	0	0	0	0	0	0
"social indicator""sustainability measurement""sustainable indicator"	27	0	0	1	0	1	0	0
"sustainability indicator""sustainable index""production process"	109	0	4	0	0	0	0	0
"sustainability index""sustainable indicator""model sustainable"	14	0	0	0	0	0	0	0
"sustainability index""sustainability measurement""production process"	9	0	9	0	0	0	0	1
"sustainable index""sustainability measurement""sustainability model"	9	0	0	0	0	0	0	0
"sustainability model""sustainability measurement""production process"	4	0	2	0	0	1	0	0
"sustainability model""sustainable index""production process"	10	0	2	0	0	0	0	0
"sustainability indicator""sustainability framework""production process"	33	0	6	0	0	0	0	1
"sustainable index""framework for sustainability""model sustainability"	7	0	0	0	0	0	0	0
"sustainable index""sustainability framework""sustainability measurement"	12	0	0	0	0	0	0	0
"sustainability framework""sustainability measurement""production process"	5	0	3	0	0	0	0	1
"sustainability framework""sustainability measurement""sustainability index"	12	1	12	0	0	1	0	1
Total	288	1	49	1	0	5	0	4

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a revisão de conteúdo dessas 348 publicações, descartaram-se 331 artigos por diversos motivos: 167 não tratavam da medição do nível de sustentabilidade, melhoria de um processo industrial e 162 apareceram duplicados

em várias das bases pesquisadas. Restaram assim, somente 19 artigos cujo conteúdo atendia aos objetivos aqui estabelecidos, e que se encontram listados no Quadro 2.

Quadro 2 – Modelos selecionados

MODELOS SELECIONADOS					
PERIÓDICO	TÍTULO	AUTORES	VOL	PAG.	ANO
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Indicators of sustainable production</i>	<i>V. Veleva; M. Hart; T. Greiner; C. Crumbley</i>	9	447-452	2001
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Indicators of sustainable production: framework and methodology</i>	<i>V. Veleva; M. Ellenbecker</i>	9	519-549	2001
<i>Ecological Economics</i>	<i>Design and development of a measuring method for environmental sustainability in food production systems</i>	<i>P.W. Gerbens-Leenes; H.C. Moll; A.J.M.S. Uiterkamp</i>	46	231-248	2003
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry</i>	<i>A. Azapagic</i>	12	639-662	2004
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Assessing the sustainability performances of industries</i>	<i>Carin Labuschagne, Alan C. Brenta, Ron P.G. van Erck, b</i>	13	373-385	2005
<i>Social Responsibility Journal</i>	<i>Sustainability measurement system: a reference model proposal</i>	<i>Ivete Delai, Sérgio Takahashi</i>	7	438-471	2011
<i>Ecological Indicators</i>	<i>Indicators for assessment of sustainable production: A case study of the petrochemical industry in Malaysia</i>	<i>V.B. Samuela; P. Agamuthub; M.A. Hashimc</i>	24	392-402	2012
<i>Ecological Indicators</i>	<i>Development of a sustainable balanced scorecard framework</i>	<i>I.E. Nikolaou; T. A. Tsalis</i>	34	76-88	2013
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Enhancing the practical implementation of life cycle sustainability assessment e proposal of a Tiered approach</i>	<i>S. Neugebauer; J. Martinez-Blanco; R. Scheumann; M. Finkbeiner</i>	102	165-176	2015
<i>Ecological Indicators</i>	<i>Composite indicator for measuring corporate sustainability</i>	<i>Marie Pavláková Dočekalová, Alena Kocmanová</i>	xxx	xxx	2015
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>A sustainability assessment system for Chinese iron and steel firms</i>	<i>Yunguang Long, Jieyi Pan, Sami Farooq b, Harry Boer b</i>	xxx	1-12	2016

MODELOS SELECIONADOS					
PERIÓDICO	TÍTULO	AUTORES	VOL	PAG.	ANO
REGE - Revista de Gestão (FEAUSP)	Proposta de índice de sustentabilidade como instrumento de auto avaliação para micro e pequenas empresas (MPEs)	A. Leoneti; A.Nirazawa; S. Oliveira	32	1-13	2016
<i>Sustainable Energy Technologies and Assessments</i>	<i>Sustainability index development for manufacturing industry</i>	<i>Hasan H. Latif a, Bhaskaran Gopalakrishnan, Ashish Nimbarte, Kenneth Currie</i>	xxx	xxx	2017
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>A novel Metric of Sustainability for petroleum refinery projects</i>	<i>Hamidreza Hasheminasab, Yaghub Gholipour, Mohammadreza Kharrazi, Dalia Streimikiene</i>	171	1215-1224	2018
<i>Ecological Economics</i>	<i>A Quantitative Approach for Assessing Sustainability Performance of Corporations</i>	<i>Payman Ahia, Cory Searcyb, Mohamad Y. Jaberb</i>	152	336-346	2018
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Multi-criteria decision analysis framework for sustainable manufacturing in automotive industry</i>	<i>Stella Stoycheva, Dayton Marchese, Cameron Paul, Sara Padoan, Abdul-salam Juhmani, Igor Linkov</i>	187	257-272	2018
<i>CIRP</i>	<i>Sustainability assessment framework for manufacturing sector a conceptual model</i>	<i>Vikrant Bhakara, A. K .Digalwara, Kuldip Singh Sangwana</i>	69	248-253	2018
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Analysis model of the sustainability development of manufacturing small and medium- sized enterprises in Taiwan</i>	<i>An-Yuan Chang*, Yen-Tse Cheng</i>	207	458-473	2019
<i>Ecological Indicators</i>	<i>Developing a sustainability index for Mauritian manufacturing companies</i>	<i>Dickcha Beekaroo, Devkumar S. Callychurn, Dinesh Kumar Hurreeram</i>	96	250-257	2019

Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizando-se uma análise detalhada de conteúdo dos artigos selecionados sob a perspectiva da medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial foi possível realizar as seguintes observações.

O modelo proposto por Veleva et al. (2001) faz a medição da sustentabilidade de um processo industrial por meio da avaliação de indicadores ambientais e saúde e segurança no trabalho, porém sem integrá-los. O modelo em questão não considera os aspectos econômicos o que deixa o conceito de

sustentabilidade incompleto. Já o trabalho para promover a sustentabilidade empresarial, Veleva e Ellenbecker (2001) propuseram um modelo por meio do uso de indicadores centrais e suplementares, baseados na estrutura de indicadores desenvolvida na *Lowell Center for Sustainable Production (LCSP)* da Universidade de Massachusetts, com o objetivo de conscientizar as empresas a medir seus desempenhos em direções aos sistemas de produção sustentável. O modelo em questão é constituído por oito etapas circulares. A primeira consiste em adotar como objetivo abordar todos os aspectos chave da atividade da empresa e também encorajar as partes interessadas. Na próxima fase são identificados os potenciais indicadores que refletem os objetivos e metas para uma produção sustentável.

A terceira etapa inclui a seleção de indicadores para a implementação, indicadores específicos da produção e envolvimento de todos os empregados. A quarta é fundamental para a definição das metas. Nessa fase são consultadas as partes interessadas e propostos os desafios específicos. Exemplo: redução do uso de produtos químicos tóxicos em 20% nos próximos cinco anos. Na quinta etapa é realizada a coleta dos dados, análise e interpretação dos resultados. Na sexta fase é realizado o monitoramento e divulgação dos resultados para as partes interessadas e na etapa seguinte são tomadas ações corretivas quando necessário. Na última fase é realizada a revisão dos indicadores, metas e políticas.

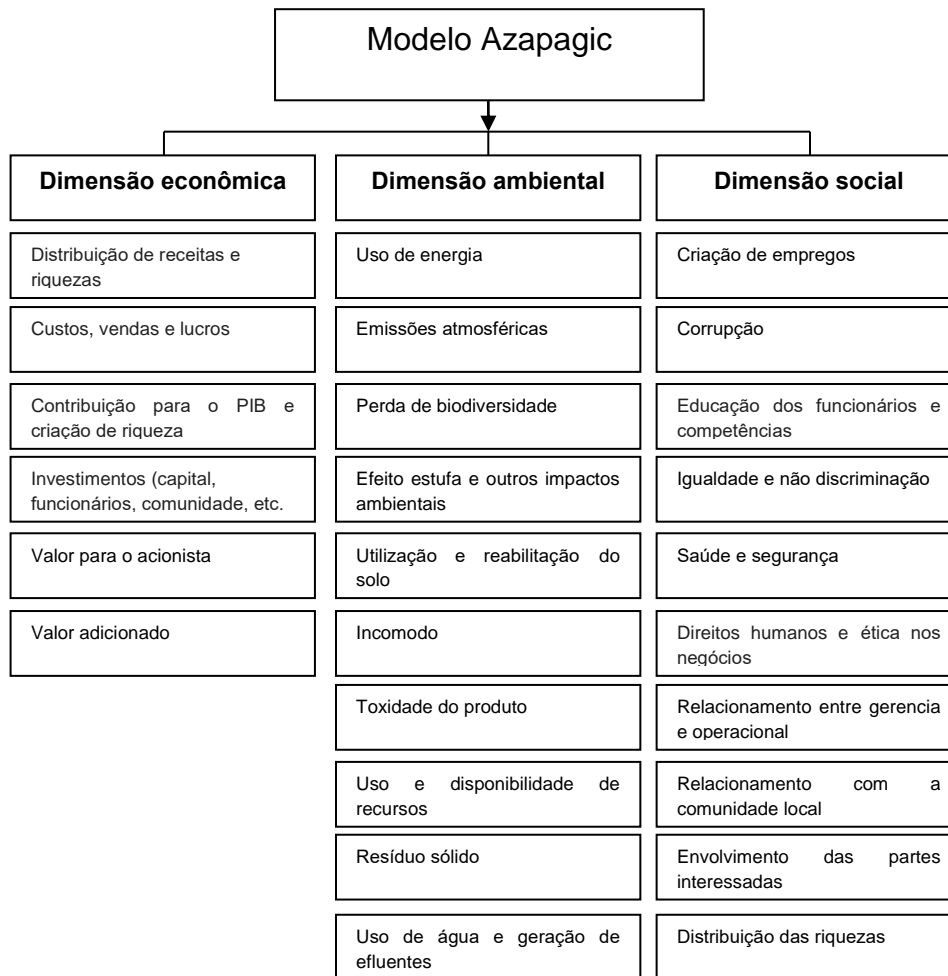
Embora o modelo em questão tenha uma metodologia estruturada para gestão dos indicadores, não fica evidente o grau de sustentabilidade alcançado pelo processo produtivo ou da empresa como um todo, pois não há uma integração dos resultados dos indicadores nas dimensões ambiental, econômica e social, podendo, tais indicadores seguir em sentidos opostos e durante a verificação dos resultados dificultar a análise se houve ou não melhora do nível de sustentabilidade (SANTOS et al. 2018).

No artigo seguinte foi proposto um modelo para a medição da sustentabilidade ambiental em sistemas de produção de alimentos (GERBENS-LEENES et al. 2003). O modelo mede parcialmente a sustentabilidade em um processo industrial. Contudo, ele foca apenas na medição dos indicadores ambientais, fato esse que permite concluir que ele não propõe a medição da sustentabilidade em seu sentido pleno.

Para o autor Azapagic (2004) a indústria de mineração enfrenta um enorme desafio em correlação à sustentabilidade dentre os setores industriais. As empresas

devem envolver as partes interessadas e serem capazes de medirem e avaliarem seu desempenho de sustentabilidade com o objetivo de assegurar a sua licença social para operar. Em função deste desafio, Azapagic (2004) desenvolveu um modelo para avaliação e melhoria do desempenho sustentável da empresa como um todo, por intermédio de um quadro de indicadores ambientais, econômicos e sociais, conforme Figura 2. O quadro de indicadores foi desenvolvido alinhado com os indicadores gerais propostos no GRI (*Global Reporting Initiative*) com o objetivo de padronizar os relatórios de sustentabilidade e possibilitar uma comparação cruzada entre empresas do mesmo setor. Para isso, foi necessário adaptar ou omitir alguns indicadores do GRI e desenvolver diversos indicadores específicos para o setor de atuação, de tal forma, que possa refletir exatamente as características do setor de mineração. No entanto, não há uma integração entre as dimensões ambientais, econômicas e sociais, tornando-se as três dimensões numa única medida de desempenho de sustentabilidade. O modelo em questão não tem por objetivo medir o desempenho de sustentabilidade de parte da empresa, ou seja, apenas um processo de fabricação, limitando-se a medir a sustentabilidade da empresa como um todo.

Figura 2 - O modelo Azapagic

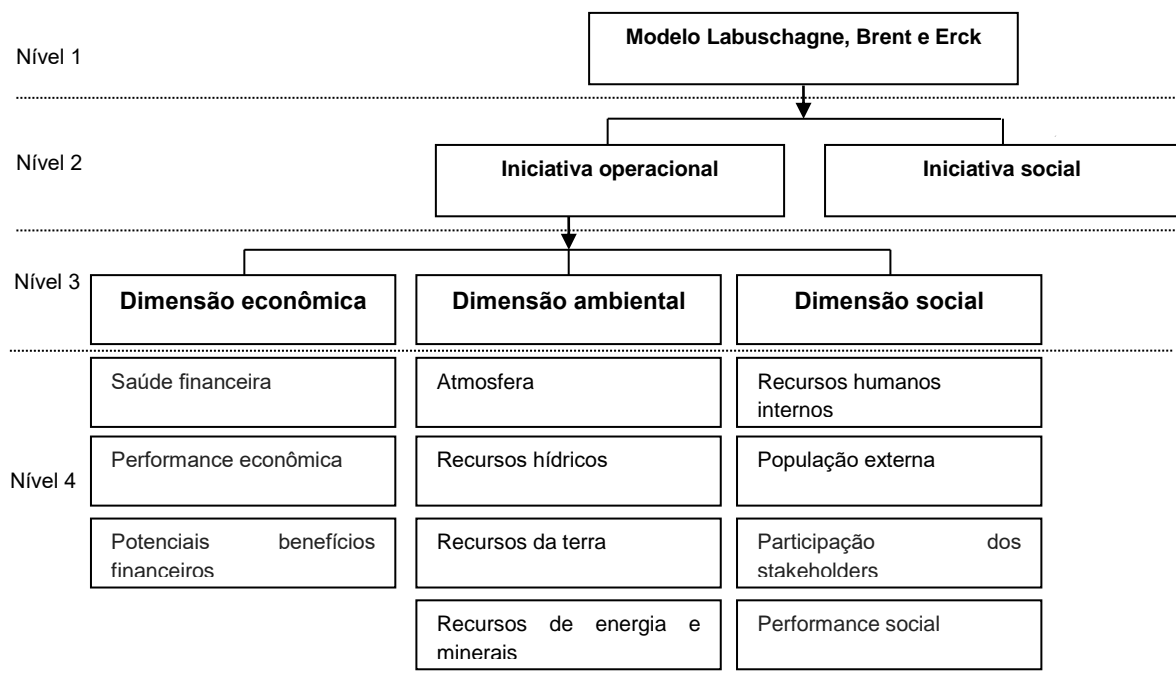


Fonte: Adaptado de Azapagic (2004).

O modelo desenvolvido por Labuschagne, Brent e Erck (2005) teve como propósito preencher uma lacuna, na qual os modelos existentes de medição do desempenho da sustentabilidade global não abordam efetivamente tais aspectos num nível operacional. Desta forma, o modelo proposto desenvolveu um quadro com critérios abrangentes em sustentabilidade que pudesse ser usado para avaliar o processo operacional, bem como a sustentabilidade da empresa como um todo. O modelo em questão foi dividido em quatro níveis. O primeiro refere-se à estratégia de responsabilidade corporativa. No segundo é considerada a estratégia empresarial, que foi dividida em duas partes: iniciativa operacional e iniciativa social. Já no terceiro nível, a iniciativa operacional deve ser avaliada nas três dimensões da sustentabilidade, ou seja, ambiental, econômica e social. Já o quarto nível, considera os critérios que devem ser adotados em cada dimensão da

sustentabilidade, Figura 3. Embora o modelo tenha sido estruturado em níveis estratégicos para avaliar o desempenho sustentável no âmbito operacional, ainda nota-se uma dificuldade em definir o nível de sustentabilidade do processo produtivo ou da empresa como um todo, pois não há uma integração dos resultados entre as dimensões ambiental, econômica e social, de tal forma que pudesse haver um único indicador, apontando em que direção está o desempenho sustentável, facilitando a tomada de decisão.

Figura 3 - O modelo de Labuschagne, Brent e Erck.



Fonte: Adaptado de Labuschagne, Brent e Erck (2005).

O modelo de referência para o sistema de medição da sustentabilidade desenvolvido por Takahashi et al. (2011) teve como objetivo medir a sustentabilidade e ajudar as empresas a integrarem tais medidas. Os autores propuseram o modelo com base em algumas iniciativas de medição da sustentabilidade, ou seja, GRI, IChemE e Ethos. Para isso, foram considerados os pontos fortes de cada iniciativa para compor o modelo de referência, que foi estruturado em quatro etapas. Na primeira, deve-se definir a visão, o conceito de sustentabilidade e respectivas metas. Na próxima etapa, procura-se estabelecer a estrutura com uma visão holística do desempenho de todo o sistema além de medir indicadores ambientais, econômicos e sociais. Na terceira fase busca-se definir

como os dados serão exibidos e divulgados de forma simples. Na última etapa realiza-se a avaliação contínua na qual se deve atribuir rotinas para coletar, calcular, analisar, divulgar os resultados e tomar ações quando necessário.

O modelo ainda aborda os pontos fortes de cada iniciativa de sustentabilidade analisada, sistematizando uma melhor forma de medir a sustentabilidade da empresa. Por outro lado, não fica evidente o grau de sustentabilidade do processo ou da empresa como um todo, apesar de realizar as medições dos indicadores nas dimensões ambientais, econômicas e sociais, não é possível determinar o nível de sustentabilidade do processo ou da organização como um todo, pois não há neste modelo uma integração destas variáveis.

Em seguida analisou-se o trabalho de proposta de indicadores para avaliação da produção sustentável (SAMUELA et al. 2012). Foi considerado no modelo os aspectos referentes a quais relatórios utilizar para verificar o nível de sustentabilidade e quais os métodos para medição dos três pilares da sustentabilidade com base no GRI. Analogamente aos casos anteriores não faz a junção dos três aspectos da sustentabilidade que esta tese estabelece como essencial para a medida daquela variável em um processo industrial.

Já o artigo proposto por Nikolaou e Tsalis (2013), apresentou resultado bastante semelhante ao estudo imediatamente anterior, com a diferença que propôs integrar os indicadores do GRI ao *balanced scorecard*. Entretanto, o problema da integração dos diversos indicadores de sustentabilidade aqui também remanesce.

O artigo seguinte propõe uma hierarquia para utilização dos indicadores ambientais, econômicos e sociais, porém sem integrá-los (NEUGEBAUER et al. 2015).

Dočekalová e Kocmanová (2015) desenvolveram um modelo para medir a sustentabilidade corporativa. Para isso, o modelo conta com 17 indicadores de desempenho que foi desenvolvido a partir da abordagem do GRI e outras instituições internacionais que medem a sustentabilidade. A vantagem do modelo em comparação ao conjunto de indicadores individuais é que o modelo resume a sustentabilidade corporativa e permite uma comparação rápida por meio de gráfico. Por outro lado, o modelo não faz a integração do *triple bottom line* em um único indicador e tão pouco é possível à medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial.

No artigo seguinte, Long et al. (2016) desenvolveu um sistema de avaliação

da sustentabilidade para empresas chinesas do ramo de ferro e aço. O sistema de avaliação proposto baseou-se nos modelos de *Lowell Center for Sustainable Production*, *Ford Product Sustainability Index*, *ISO14031*, *Global Reporting Initiative (GRI)*, *Sustainability Metrics of the Institution of Chemical Engineers (IChemE)* e *Dow Jones Sustainability Indexes (DJSI)*. Contudo, ficou evidente que o sistema de avaliação ficou muito próximo da estrutura do GRI. Para facilitar a avaliação foram definidos apenas 7 indicadores para a dimensão econômica, 4 para dimensão social e 6 para a dimensão ambiental, especificamente para o setor da indústria siderúrgica. O sistema de avaliação em questão não mede o nível de sustentabilidade de um processo industrial, embora, o sistema de avaliação integre os aspectos ambientais, sociais e econômicos, essa integração depende dos especialistas atribuírem pesos para todos os indicadores.

O trabalho proposto por Leoneti et al. (2016) sobre uma proposta de índice de sustentabilidade como instrumento de autoavaliação para micro e pequenas empresas é realizada por meio de um formulário com questões relacionadas com os aspectos ambientais, econômicos e sociais, as micros e pequenas empresas conseguem se autoavaliar em relação a sustentabilidade da empresa como um todo. Apesar de ser interessante a integração das variáveis, o modelo como o próprio autor recomenda, é para micro e pequenas empresas onde essas empresas têm problemas, tais como: falta de dados, falta de sistemas de informação, falta de pessoas com visão de processos.

Foi desenvolvido um modelo genérico interativo para determinar o índice de sustentabilidade da indústria de manufatura de pequeno e médio porte (LATIF et al, 2017). O modelo em questão recebe as entradas dos usuários, onde são definidos os indicadores para cada dimensão da sustentabilidade e atribuído os pesos de acordo com as entradas. Embora, o modelo leva em consideração as dimensões ambiental, econômica e social, o mesmo não determina o nível de sustentabilidade de um processo industrial.

Hasheminasab et al. (2018), desenvolveu um modelo para melhorar a sustentabilidade nos projetos de instalações de refinaria de petróleo. O modelo leva em questão as três dimensões da sustentabilidade, ambiental, econômica e social, porém não há uma integração entre as três. Contudo, este modelo não é aplicável para a melhoria do nível de sustentabilidade de um processo industrial.

Foi desenvolvido um modelo probabilístico para avaliar o desempenho da

sustentabilidade corporativa, (AHI et al. 2018). O modelo proposto trata-se de uma ferramenta genérica para avaliação do desempenho sustentável da empresa, e foi desenvolvido com base nas dimensões da sustentabilidade, ou seja, ambiental, econômica e social. A ferramenta em questão não possibilita a medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial.

Stoycheva et al. (2018), desenvolveu um modelo para análise de decisão multicritério para manufatura automotiva sustentável. A análise multicritério foi usada para combinar os valores dos executivos e tomadores de decisão da indústria automotiva com os critérios de desempenho de diferentes materiais na fabricação de automóveis. Embora, o modelo proposto leve em consideração às três dimensões da sustentabilidade, não há uma integração entre elas de tal forma que possibilite avaliar a evolução de um processo industrial em situações em que as dimensões ocorram em sentidos opostos.

Um modelo conceitual foi desenvolvido para avaliar a sustentabilidade do setor manufatureiro (BHAKAR et al. 2018). A avaliação da sustentabilidade é baseada em toda a cadeia de suprimento da indústria e inclui o ciclo de vida do produto. Para a realização da avaliação da sustentabilidade são propostos cinco níveis, ao qual, são dispostos em uma matriz e colocados de maneira hierárquica. O modelo em questão está alinhado com triple bottom line, contudo, não há uma integração entre os aspectos ambientais, econômicos e sociais, tão pouco, é possível avaliar o nível de sustentabilidade de um processo industrial.

Chang e cheng (2019) desenvolveram um modelo de análise do desenvolvimento da sustentabilidade em empresas de manufatura de pequeno e médio porte em Taiwan. O modelo consiste em selecionar os indicadores para cada dimensão da sustentabilidade, ou seja, os indicadores ambientais, econômicos e sociais, e avaliar o desenvolvimento sustentável. Inicialmente são selecionados os indicadores, para isso, é utilizado o método *Fuzzi Delphi*. Após a seleção dos indicadores, elaboração do questionário e coleta dos dados, utiliza-se o método *Grey relational analysis*, que têm por objetivo quantificar o desempenho eliminando a subjetividade humana. Embora, o modelo proposto atue nas três dimensões da sustentabilidade, não há uma integração das três dimensões proporcionando a medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial.

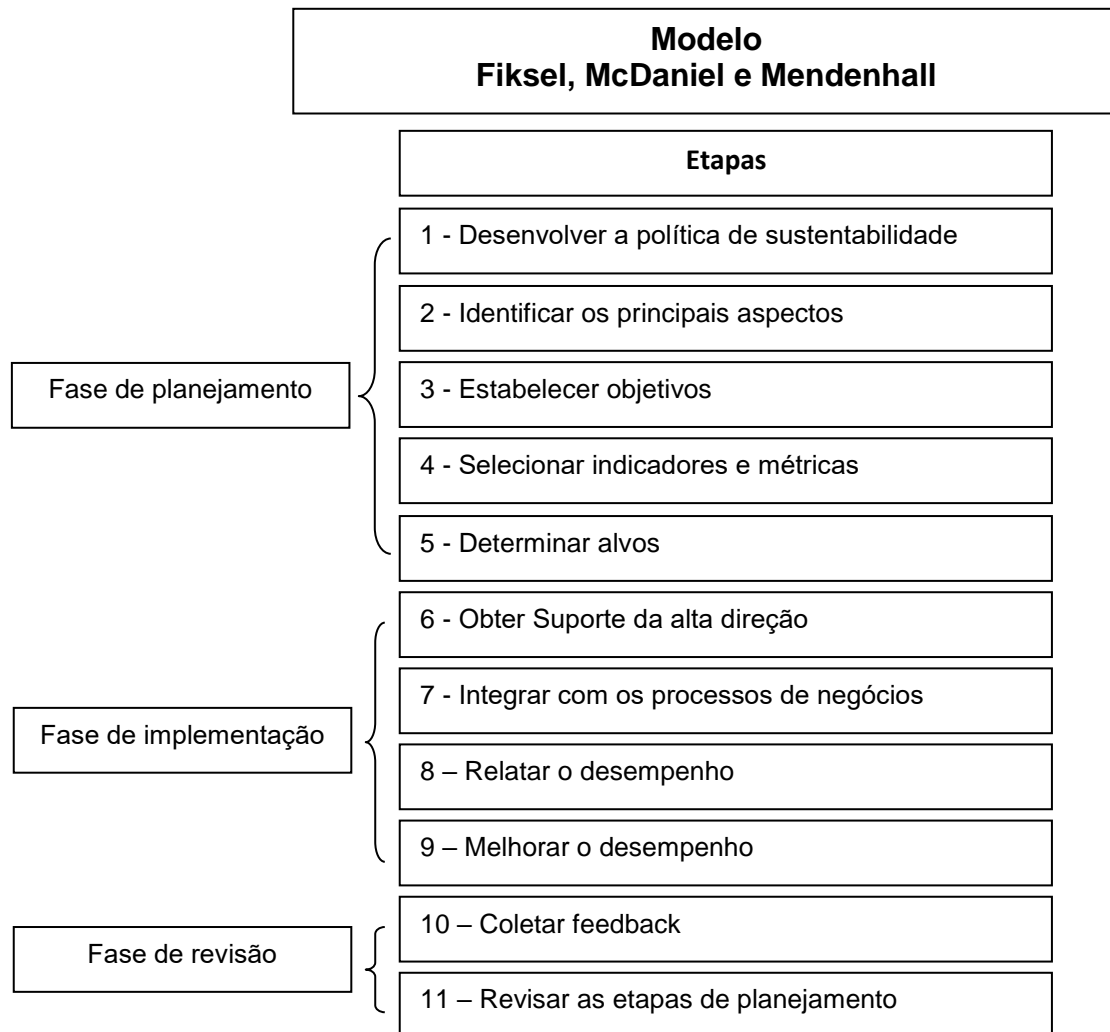
Um modelo de índice de sustentabilidade para as empresas de manufatura da ilha de *Mauritian* foi desenvolvido com o propósito de quantificar os impactos das

atividades de fabricação das empresas no meio ambiente (BEEKAROO et al. 2019). O modelo analisa os principais problemas ambientais, econômicos e sociais que afetam as empresas manufatureiras. Os indicadores são relacionados por meio de regressão linear e combinados por um algoritmo de indexação. Apesar de o modelo considerar as três dimensões da sustentabilidade, não há uma integração entre elas, de tal forma, que possibilite um único indicador para medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial.

Além dos modelos encontrados nas bases de dados, foi encontrado na literatura mais quatro modelos sobre sustentabilidade, sendo eles: Modelo GRI, IChemE, Ethos e Fiksel, McDaniel e Mendenhall.

Os autores Fiksel, McDaniel e Mendenhall (1999) perceberam os desafios enfrentados pelas empresas líderes nos Estados Unidos, Europa e Japão em acompanhar o seu progresso em direção à sustentabilidade. Com o objetivo de auxiliar os tomadores de decisões, desenvolveram um modelo para auxiliar na medição da performance ambiental, social e econômico de seus produtos, processos e empresa como um todo. Os autores sugeriram que a medição do desempenho sustentável deve levar em consideração: 1) indicadores de recursos e valores, 2) as dimensões ambiental, econômica e social, 3) ciclo de vida do produto, 4) indicadores de liderança e atraso. Para iniciar o processo de medição do progresso da sustentabilidade, foi proposto seguir um modelo de onze etapas (Figura 4) no qual a empresa deve definir o denominado plano fase. Como ponto de partida, a organização deve definir a política de sustentabilidade, identificar os aspectos chave de desempenho, estabelecer objetivos e métricas, e definir indicadores específicos para a organização. Entretanto, os especialistas envolvidos no processo de medição devem, antes de tudo, definir o escopo para a medição, que pode ser apenas para um produto, processo ou a organização como um todo. Embora, o modelo seja alinhado ao *triple bottom line* e aplicável para medições de um produto, processo ou na organização como um todo, ainda se percebe uma dificuldade na forma de interpretar os resultados, pois o desempenho das dimensões ambiental, econômica e social pode variar em sentidos opostos, dificultando a identificação de se houve uma melhoria do nível de sustentabilidade do produto, do processo ou da empresa como um todo.

Figura 4 - O modelo de Fiksel, McDaniel e Mendenhall

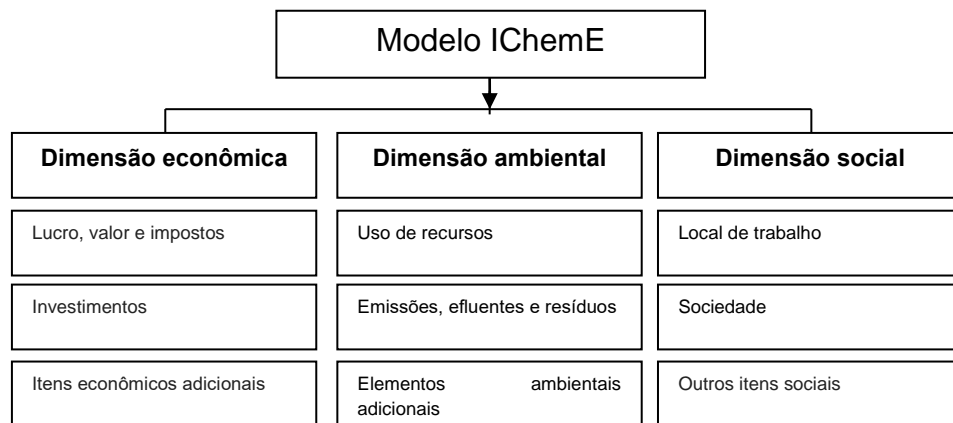


Fonte: Adaptado de Fiksel, McDaniel e Mendenhall (1999).

A Instituição dos Engenheiros Químicos (IChemE, 2002) com o propósito de auxiliar os engenheiros a promover uma maior eficiência nas dimensões ambiental, social e econômica, propôs um modelo que visa introduzir uma série de indicadores para cada uma das três dimensões, de tal forma que pudesse ser usado na medição da sustentabilidade de processos produtivos (Figura 5). Tal modelo está alinhado às diretrizes do GRI, que têm encorajado as empresas do setor de transformação a reportar seu desempenho sustentável. Evidentemente que o conteúdo do relatório dependerá do tamanho e atividade da organização. Contudo, a empresa deve levar em consideração mesmo nas pequenas unidades operacionais os aspectos mais amplos. Embora o modelo esteja alinhado às diretrizes do GRI e tenha sido desenvolvido por meio da criação de diversos indicadores específicos para o processo produtivo, ainda é possível notar certa dificuldade em definir o nível de

sustentabilidade que o processo se encontra, pois não há uma integração entre as dimensões ambiental, econômica e social, traduzindo em um único indicador o nível de sustentabilidade de tal processo produtivo.

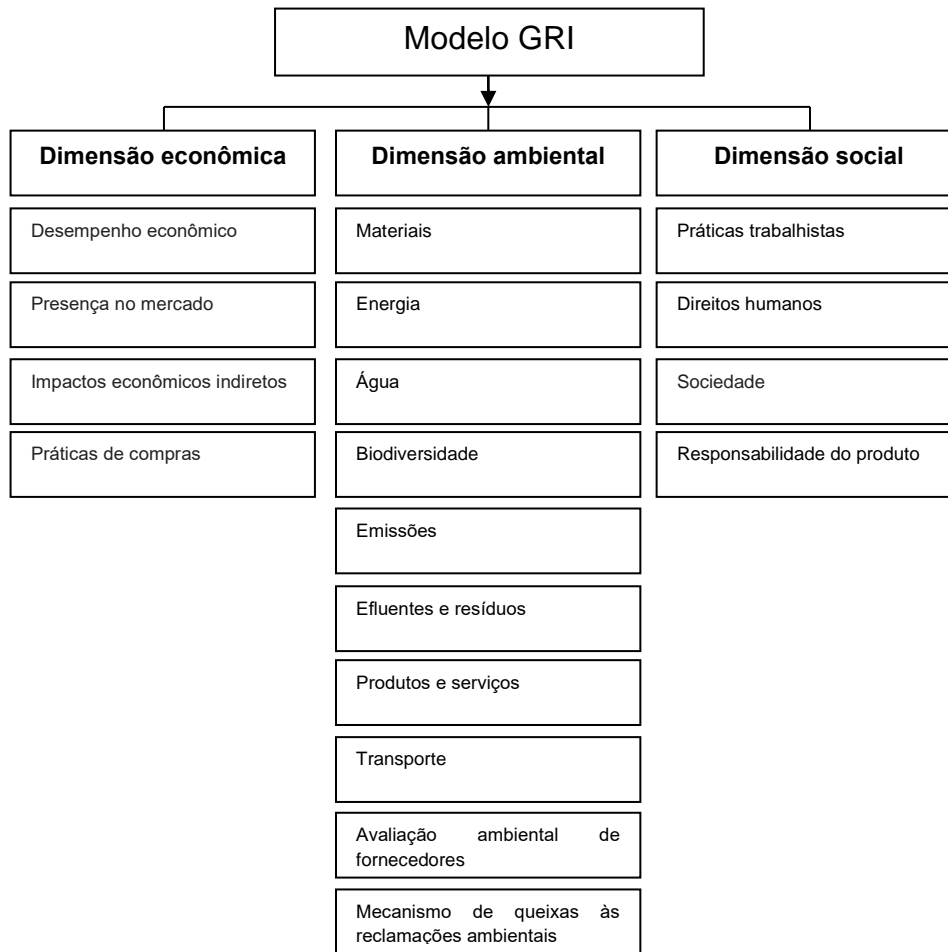
Figura 5 - O modelo de IChemE



Fonte: Adaptado de IChemE (2002)

A instituição internacional sem fins lucrativo, *Global Reporting Initiative* (GRI, 2011), criou o modelo para medição da sustentabilidade no final da década de 90 com a missão de ajudar as empresas de qualquer porte a compreenderem e comunicarem as suas contribuições para o desenvolvimento sustentável, levando em consideração os impactos ambientais, sociais e econômicos da empresa, com o objetivo de atender as necessidades da humanidade presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Atualmente, as diretrizes do GRI estão na quarta versão, denominada G4 (GRI, 2013). Este documento define os princípios necessários para a concepção de um relatório de sustentabilidade considerando o *triple bottom line*. O modelo em questão busca medir o desempenho de diversos aspectos em cada uma das três dimensões da sustentabilidade, conforme Figura 6. No entanto, o modelo GRI limita-se a medir o desempenho sustentável da organização como todo, dificultando uma avaliação do nível de sustentabilidade em apenas parte da organização, ou seja, em um processo industrial. Embora, o modelo GRI considere a medição das três dimensões, ambiental, econômica e social, não há uma integração entre elas, de tal forma que se tenha um único indicador, possibilitando identificar em qual nível de sustentabilidade o processo ou a empresa como um todo em questão se encontra.

Figura 6 - O modelo adaptado de GRI



Fonte: Adaptado do GRI (2013).

Os indicadores de sustentabilidade desenvolvidos por Ethos (2017) tiveram o propósito de avaliar a sustentabilidade e a responsabilidade social no âmbito dos negócios. Os indicadores foram criados levando em consideração algumas iniciativas, tais como: ABNT ISO 26000, diretrizes do G4 (GRI), os princípios do pacto global da ONU. O instituto Ethos, em seu modelo, sugere algumas pré-seleções de indicadores para facilitar às empresas a escolha de indicadores que façam sentido ao seu nível de maturidade de gestão.

A empresa pode escolher dentre os quatro níveis, sendo o primeiro o denominado básico, composto por 12 indicadores que trazem uma abordagem panorâmica do sistema. No segundo nível, identificado como essencial, o modelo traz 24 indicadores com questões relevantes para a empresa na perspectiva das partes interessadas. No próximo nível, considerado como amplo, são propostos 36 indicadores que englobam os desdobramentos referentes aos negócios sustentáveis

e responsáveis. O último nível, considerado como abrangente, reúne 47 indicadores que propiciam um olhar sobre seu próprio desempenho no que tange à gestão sustentável e socialmente responsável.

Embora o modelo seja bem estruturado, o instituto Ethos não o desenvolveu para medir o desempenho de sustentabilidade ou responsabilidade de um processo ou da empresa, e nem reconhecer empresas como sustentáveis ou socialmente responsáveis. O modelo em questão não integra as dimensões em um único indicador, dificultando a identificação de se a empresa analisada melhorou ou piorou seu nível de sustentabilidade entre períodos consecutivos.

Com a realização desta revisão da literatura foi possível verificar que existe uma lacuna na bibliografia que trata do tema objeto desta tese. De fato, nenhum dos artigos selecionados ou modelo encontrado na literatura propôs uma maneira de medir o nível de sustentabilidade de um processo industrial, no qual os três aspectos (econômico, ambiental e social) sejam integrados em uma única medida que permita avaliar o que ocorre com o nível de sustentabilidade de no caso de indicadores caminharem em sentidos opostos. Para contribuir com conhecimentos que possam cobrir essa lacuna irá ser proposta uma maneira de medir o nível de sustentabilidade de um processo por meio de uma medida única que integre os três aspectos mencionados. Tal iniciativa é realizada no capítulo de Metodologia.

2.2. A TÉCNICA SEIS SIGMA

Por volta da década de 80, as empresas americanas estavam sendo fortemente pressionadas pela competitividade das empresas japonesas no ramo da indústria eletrônica. Nesta época as empresas americanas acreditavam que a qualidade custava caro, então, a empresa Motorola percebeu que quando se fabricava um produto corretamente, ou seja, com qualidade, os reflexos eram positivos, pois acabavam reduzindo os custos e em contrapartida aumentavam a lucratividade. Baseado neste conceito, a Motorola desenvolveu a filosofia Seis Sigma (CALIA et al. 2009). Os gastos pela Motorola para corrigir problemas decorrentes de má qualidade resultavam em cerca de US\$ 800 milhões de dólares por ano, ou seja, de 5 a 20% da receita (NAIR, 2011). Como resultado da implantação do Seis Sigma a Motorola economizou em quatro anos cerca de aproximadamente US\$ 2,2 bilhões de dólares.

O Seis Sigma ganhou popularidade, de fato, com os ganhos expressivos alcançados pelas empresas. Apesar de a pioneira ter sido a Motorola, outras empresas obtiveram resultados por meio da adoção do Seis Sigma. Por exemplo, a GE estimou em 2001 que nos últimos três anos economizaram cerca US\$ 8 bilhões de dólares com a filosofia Seis Sigma (ARNDT, 2002). Para Pfeifer (2004) isso tem incentivado diversas empresas como a Volvo, Ford, Caterpillar, Siemens, etc., a adotarem a filosofia Seis Sigma como uma ferramenta para o sucesso financeiro.

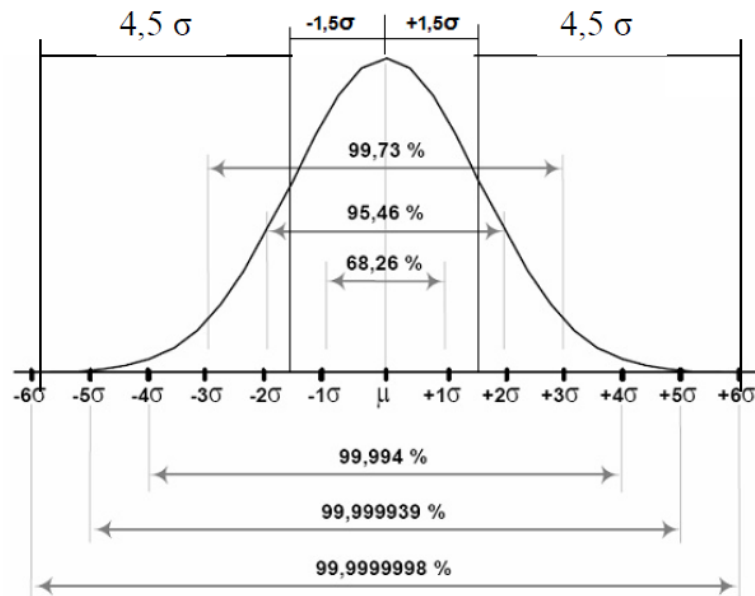
O Seis Sigma é uma técnica estruturada que se utiliza de poderosas ferramentas estatísticas com o objetivo de reduzir a variabilidade do processo, aumentando o nível de qualidade do processo e como consequência o lucro da empresa (ERDIL et al, 2018; ROTONDARO et al, 2010; WERKEMA, 2010; PYZDEK, 2003). Para Werkema (2010), a técnica Seis Sigma atua nas metas estratégicas da empresa, estabelecendo que todos os setores-chaves possuam metas para melhorias baseadas em métricas quantificáveis que serão alcançadas com o Seis Sigma. Contudo, outros autores apresentam outras definições.

Chakrabarty e Tan (2007) definem a técnica Seis Sigma como uma filosofia de gestão operacional, podendo esta ser compartilhada entre os clientes e fornecedores. Para Goh e Xie (2004) e McAdam e Evans (2004), o Seis Sigma tem por objetivo aumentar o nível sigma de um processo por meio do uso de um grupo de ferramentas estatísticas, traduzindo o requisito crítico do cliente em requisito da qualidade. Pheng e Hui (2004) considera a técnica Seis Sigma como uma cultura empresarial, muito mais do que apenas ferramentas estatísticas, é preciso o envolvimento dos colaboradores e principalmente da gestão. Entretanto, para Harry (2000) a técnica Seis Sigma não pode ser tratada apenas como um programa de melhoria contínua que minimiza falhas na qualidade, precisa ser uma iniciativa de negócios focada na redução dos riscos também. Ainda, Schroeder et al (2008) sugere que a técnica Seis Sigma pode ser vista como um processo de mudança organizacional.

A técnica Seis Sigma é focada na redução da variabilidade de um processo. E essa variação pode ser expressa como o nível sigma (σ), ou seja, números de desvios padrão que podem ser convertidos em números de defeitos em um milhão de oportunidades (DPMO). Para exemplificar, um processo que tenha seu nível de qualidade três sigmas, tal processo, produz produtos com 93,32% de qualidade, ou seja, pode haver 66807 produtos com defeitos em um milhão de produtos

produzidos. Para Pande et al (2001); Eckes (2001) e George (2004) quando o processo atinge o nível Seis Sigma, ou seja, 3,4 defeitos em um milhão de oportunidades os produtos têm a qualidade esperada de 99,9999%, Figura 7.

Figura 7 – Curva em forma de sino



Fonte: Adaptado do Eckes (2001).

Os projetos de melhoria podem ser conduzidos pela técnica Seis Sigma por meio das fases do DMAIC (*define, measure, analyze, improve, control*) quando o foco é aperfeiçoar um processo existente ou DMADV (*define, measure, analyze, design, verify*) para desenvolver um novo produto ou processo, de tal forma que os resultados sejam livres de defeitos (ERDIL et al., 2018; SIN et al., 2015; WERKEMA, 2010). Em geral, os projetos Seis Sigma são coordenados por especialistas na técnica (*Black Belts e Green Belts*), essa nomenclatura Black Belt e Green Belt deriva das artes marciais, ou seja, faixa preta e faixa verde (PYZDEK, 2003). Nas empresas que utilizam a técnica Seis Sigma essa nomenclatura é bem difundida.

Na técnica Seis Sigma a equipe é formada por especialistas e patrocinadores. No Quadro 3, Werkema (2010) define os patrocinadores e especialistas e suas principais funções no Seis Sigma.

Quadro 3 – Patrocinadores e especialistas

EQUIPE SEIS SIGMA		FUNÇÃO NA EMPRESA	PRINCIPAIS FUNÇÕES NO SEIS SIGMA
Patrocinadores	SPONSOR	CEO	Responsável por apoiar e disseminar a cultura da técnica Seis Sigma na organização
	SPONSOR FACILITADOR	Diretoria	Dar suporte para o Sponsor na implantação e disseminação da técnica Seis Sigma
	CHAMPION	Gerência	Dar apoio e suporte no desenvolvimento dos projetos Seis Sigma
Especialistas	MASTER BLACK BELT	Especialista	Dar suporte técnico para equipe dos projetos Seis Sigma, mentor da técnica para os líderes de projetos (Black Belts e Green Belts)
	BLACK BELT	Especialista	Liderar a equipe de projetos multifuncionais, aplicar as técnicas e ferramentas estatísticas nos projetos Seis Sigma.
	GREEN BELT	Especialista	Liderar projetos funcionais e participar de projetos multifuncionais apoiando o Black Belt.
	YELLOW BELT	Supervisão	Atua no projeto como especialista do processo em estudo.
	WHITE BELT	Operacional	Executam as ações implementadas nos projetos Seis Sigma

Fonte: Adaptado de Werkema (2010).

Para Pyzdek (2003), nem sempre as equipes dos projetos Seis Sigma contemplam todos os papéis definidos na filosofia Seis Sigma como descrito na literatura, em alguns casos, esses papéis podem variar em função da estrutura da organização, podendo alguns exercer mais de um papel durante o projeto Seis Sigma. Contudo, é necessário que o líder do projeto seja um especialista na técnica Seis Sigma, ou seja, um Black Belt ou Green Belt na técnica Seis Sigma.

2.3. O DMAIC

O DMAIC é um método estruturado em cinco fases (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) com o propósito de melhoria em processos existentes (ECKES, 2001; WERKEMA, 2010; PARAST, 2011). Esse método está apoiado em uma série de poderosas ferramentas estatísticas e de gestão da qualidade.

Na primeira fase do método DMAIC o “Define”, é definido o problema prioritário e proposto um desafio para eliminar ou diminuir a variação do processo (ROTONDARO et al., 2010). Com isso, os principais passos precisam ser seguidos nesta etapa “*Define*”:

- a) Definir uma equipe para o projeto. É fundamental que a equipe seja composta por especialista no processo;
- b) Definir o escopo e prazo para execução do projeto. Nesta etapa precisa ficar claro para a equipe o delineamento do projeto;
- c) Identificar e transformar o requisito crítico do cliente “voz do cliente” em requisito crítico para a qualidade. Essa etapa tem o propósito de colher informações do cliente para o processo;
- d) Realizar o mapeamento dos processos críticos que estão gerando resultados indesejáveis;
- e) Avaliar os riscos e oportunidades de empreender o projeto a curto e longo prazo.

Para a fase inicial, geralmente são seguidas as seguintes atividades e ferramentas que foram detalhadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Fase “Define”

D	ATIVIDADES	FERRAMENTAS
DEFINIR: Definir com precisão o escopo do projeto	Descrever o problema do projeto e definir a meta.	- Project charter.
	↓	
	Avaliar histórico do problema, retorno econômico, impacto sobre clientes, consumidores e estratégias da empresa.	- 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 unidade de negócio e se será patrocinada pelos gestores envolvidos.	
	↓	
	<pre> graph TD A{O projeto deve ser desenvolvido?} -- SIM --> B[] A -- NÃO --> C[Selecionar novo projeto] </pre>	
	Definir os participantes da equipe e suas responsabilidades, as possíveis restrições e o cronograma preliminar.	- Project charter.
	↓	
Identificar as necessidades dos principais clientes do projeto.	- Voz do cliente - VOC (<i>Voice of the customer</i>).	
Definir o principal processo envolvido no projeto.	- SIPOC.	

Fonte: Adaptado de Werkema (2010).

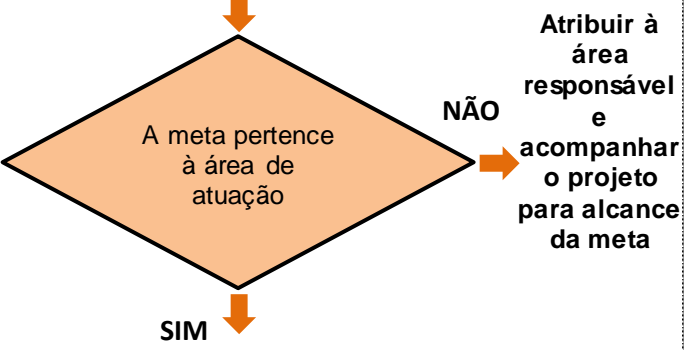
Para Rotondaro et al. (2010), na segunda fase do DMAIC “Measure” o processo em estudo é medido por meio das suas principais variáveis, seguindo os seguintes passos:

Mapeamento

- Com base no mapeamento de processo definir os indicadores de medição para as entradas, processamento e saídas;
- Analisar o sistema de medição (MSA);
- Propor um plano de medição que garanta as amostras representativas;
- Coletar os dados com base no plano de medição.

No Quadro 5 é possível visualizar as atividades e ferramentas sumarizadas para a fase “Measure”.

Quadro 5 – Fase “Measure”

M	ATIVIDADES	FERRAMENTAS	
MEASURE: Determinar a localização ou foco do problema	Decidir entre as alternativas de coletar novos dados ou usar dados já existentes na empresa.	- Avaliação do sistema de medição (MSA).	
	Identificar a forma de estratificação para o problema.	- Estratificação.	
	Planejar a coleta de dados.	- Plano para coleta de dados; - Folha de verificação; - Amostragem.	
	Preparar e testar o sistema de medição.	- Avaliação do sistema de medição (MSA).	
	Coletar os dados.	- Plano para coleta de dados; - Folha de verificação; - Amostragem.	
	Analisar o impacto das várias partes do problema e identificar os problemas prioritários.	- Estratificação; - Diagrama de pareto.	
	Estudar as variações dos problemas prioritários identificados.	- Gráfico sequencial; - Carta de controle; - Análise de séries temporais; - Histograma; - Boxplot; - Índice de capacidade; - Métricas do Seis Sigma; - Análise multivariada.	
	Estabelecer a meta para cada problema prioritário.	- Cálculo matemático.	
			

Fonte: Adaptado de Werkema (2010).

Na fase seguinte, “Analyze” os dados obtidos na fase anterior são analisados mediante as ferramentas estatísticas e de gestão da qualidade (ERDIL et al., 2018). Para Rotondaro et al. (2010), o propósito desta fase é identificar as causas que influenciam o resultado do processo. Para isso, os seguintes passos são seguidos:

- a) Os dados coletados são submetidos e estratificados por meio de ferramentas estatísticas e de gestão da qualidade com a finalidade de identificar as causas óbvias e não óbvias que influenciam o processo.
- b) Identificar o nível Seis Sigma do processo atual

Nessa fase o Black Belt deve explorar ao máximo as ferramentas estatísticas com a finalidade de detectar as causas que influenciam no processo. No Quadro 6 é possível visualizar as etapas e ferramentas utilizadas na fase “Analyze”.

Na fase “Improve”, são propostos e implementados os planos de ações de melhorias no processo. Nesta fase a equipe precisa concentrar esforços para interagir com as pessoas do processo e eliminar as causas raízes (ROTONDARO et al., 2010). As atividades e ferramentas que suportam esta fase estão sumarizadas no Quadro 7.

Por fim, “Control”, a última fase do DMAIC a equipe precisa validar os ganhos alcançados com o projeto e desenvolver um plano de controle que garanta a perpetuação dos resultados, além de propor possíveis melhorias futuras, (ROTONDARO et al., 2010). As atividades e ferramentas propostas para a fase “Control” podem ser visualizadas em detalhes no Quadro 8.

Quadro 6 – Fase “Analyze”

A	ATIVIDADES	FERRAMENTAS
ANALYZE: Determinar as causas do problema prioritário	Analisar o processo gerador do problema prioritário.	<ul style="list-style-type: none"> - Fluxograma; - Mapa de processo; - Mapa de produto; - Análise do tempo de ciclo; - FMEA; - FTA.
	Analisar dados do problema prioritário e de seu progresso gerador.	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação do sistema de medição (MSA); - Histograma; - Boxplot; - Estratificação; - Diagrama de dispersão; - Cartas "Mult-vari".
	Identificar e organizar as causas potenciais do problema prioritário.	<ul style="list-style-type: none"> - Brainstorming; - Diagrama de causa e efeito; - Diagrama de afinidades.
	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 (determinar as causas fundamentais).	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação do sistema de medição (MSA); - Carta de controle; - Diagrama de dispersão; - Análise de regressão; - Teste de hipótese; - Análise de variância; - Planejamento de experimentos; - Análise de tempos de falhas; - teste de vida acelerados.

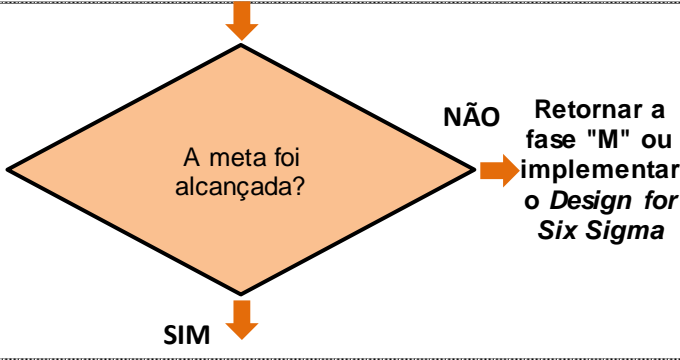
Fonte: Adaptado de Werkema (2010).

Quadro 7 – Fase “*Improve*”

I	ATIVIDADES	FERRAMENTAS
IMPROVE: Propor, avaliar e implementar soluções para o problema	Gerar idéias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritário.	<ul style="list-style-type: none"> - Brainstorming; - Diagrama de causa e efeito; - Diagrama de afinidades; - Diagrama de relações.
	Priorizar as soluções potenciais.	<ul style="list-style-type: none"> - Matriz de priorização; - Diagrama de matriz.
	Avaliar e minimizar os riscos das soluções prioritárias.	<ul style="list-style-type: none"> - FMEA; - <i>Stakeholders analysis</i>.
	Testar em pequena escala as soluções selecionadas (teste piloto).	<ul style="list-style-type: none"> - Teste na operação; - Teste de mercado; - Simulação.
	Identificar e implementar melhorias ou ajustes para as soluções selecionadas, caso necessário.	<ul style="list-style-type: none"> - Operação evolutiva; - Teste de hipótese.
	<div style="text-align: center;"> <pre> graph TD A{A meta foi alcançada?} -- SIM --> B[] A -- NÃO --> C[Retornar a fase "M" ou implementar o Design for Six Sigma] </pre> </div>	
	Elaborar e executar um plano para implementação das soluções em larga escala.	<ul style="list-style-type: none"> - 5W2H; - Diagrama de árvore; - Diagrama de gantt; - Pert/COM; - Diagrama do processo decisório (PDPC).

Fonte: Adaptado de Werkema (2010).

Quadro 8 – Fase “Control”

C	ATIVIDADES	FERRAMENTAS
CONTROL: Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo	Avaliar o alcance da meta em larga escala.	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação do sistema de medição (MSA); - Diagrama de pareto; - Carta de controle; - Histograma; - Índices de
		
	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 monitoramento da performance do processo e do alcance da meta.	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação do sistema de medição (MSA); - Plano para coleta de dados; - Folha de verificação; - Amostragem; - Carta de controle; - Histograma; - Índice de capacidade; - Métricas do Seis Sigma; - Auditorias.
	Definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso sujam problemas no processo.	<ul style="list-style-type: none"> - Relatórios de anomalias; - <i>Out of control action plan (OCAP)</i>.
	Sumarizar o que foi aprendido e fazer recomendações para trabalhos futuros.	<ul style="list-style-type: none"> - 5W2H; - Diagrama de árvore; - Diagrama de gantt; - Pert/COM; - Diagrama do processo decisório (PDPC).

Fonte: Adaptado de Werkema (2010).

2.4. O SEIS SIGMA E A SUSTENTABILIDADE

Com o propósito de identificar na literatura a evolução das publicações relativas a técnica Seis Sigma nos últimos anos, como ferramenta para melhoria do nível de sustentabilidade de um processo industrial, foram consultadas oito bases de dados, sendo elas: Capes, Compendex, Emerald, Scielo (web of Science), Science Direct, Scopus, Taylor & Francis e Wiley Library, com o objetivo de extrair os artigos correspondentes às palavras chave definidas no Quadro 9. Durante a seleção das bases, restringiu-se apenas na análise de periódicos, desta forma não incluiu a produção científica de anais de congressos e eventos. Como resultado, foi possível obter os resultados conforme detalhados na tabela 2.

Quadro 9 - Palavras chave utilizadas (Seis Sigma x Sustentabilidade)

Palavras Chave
"six sigma""sustainable""sustainability""integrated model"
"sustainability""six sigma""production process""integrated model"
"six sigma""sustainable""process improvement""integrated model"
"integrated model""six sigma""sustainability"
"integrated model""six sigma""social"

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas palavras chave definidas no Quadro 9 foi possível encontrar nas bases de dados 505 artigos, Tabela 2.

Tabela 2 - Número de artigos encontrados nas bases de dados

Palavras chave	Science Direct	Emerald	Capes	Scopus	Compendex	Taylor & Francis	Scielo (Web of science)	Wiley Library
<i>"six sigma""sustainable""sustainability""integrated model"</i>	36	0	56	1	2	0	0	0
<i>"sustainability""six sigma""production process""integrated model"</i>	8	1	13	0	0	2	0	0
<i>"six sigma""sustainable""process improvement""integrated model"</i>	11	5	39	0	0	9	0	0
<i>"integrated model""six sigma""sustainability"</i>	36	8	68	2	3	12	0	0
<i>"integrated model""six sigma""social"</i>	30	10	121	0	3	29	0	0
Total	121	24	297	3	8	52	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os artigos encontrados, dos 505 artigos 349 foram excluídos por terem se repetidos. Os 156 artigos selecionados foram analisados e apenas 6 artigos correspondem a interface entre a técnica Seis Sigma e a sustentabilidade, como pode ser visualizado no Quadro 10.

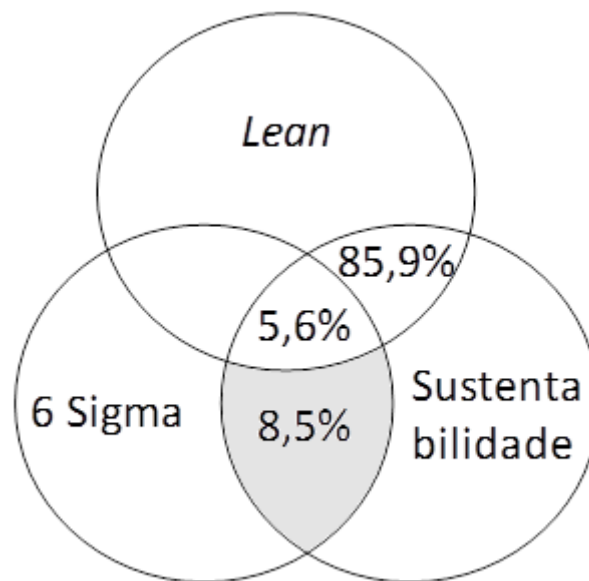
Quadro 10 – Artigos selecionados

ARTIGOS SELECIONADOS						
PERIÓDICO	TÍTULO	AUTORES	VOL	PAG.	ANO	INTERFACE
Journal of Cleaner Production	The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model	Anass Cherrafi, Said Elfezazi, Andrea Chiarini, Ahmed Mokhlis, Khalid Benhida	139	828-846	2016	Interface do Seis Sigma com os aspectos ambientais, econômicos e sociais
International Journal of Lean Six Sigma	Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability: A systematic literature review on Scopus base	Jéssica Galdino de Freitas, Helder Gomes Costa,	08	89-108	2017	Interface do Seis Sigma com os aspectos ambientais, econômicos e sociais
Journal of Cleaner Production	Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability: A survey study	Jessica Galdino de Freitas, Helder Gomes Costa, Fernando Toledo Ferraz	156	262-275	2017	Interface do Seis Sigma com os aspectos ambientais, econômicos e sociais
Journal of Cleaner Production	Embedding sustainability in lean six sigma efforts	Nadiye O. Erdil, Can B. Aktas, Omid M. Arani	198	520-529	2018	Interface do Seis Sigma com os aspectos ambientais, econômicos e sociais
Sustainability	Sustainable Process Performance by Application of Six Sigma Concepts: The Research Study of Two Industrial Cases	Andrea Sujova, Lubica Simanova and Katarina Marcinekova	08	260	2016	Interface do Seis Sigma com a sustentabilidade dos ganhos no processo
International Journal of Lean Six Sigma	Green lean and the need for Six Sigma	Jose Arturo Garza-Reyes,	6	226-248	2015	Interface do Seis Sigma com a sustentabilidade de ambiental

Fonte: elaborado pelo autor.

A aplicação da técnica Seis Sigma como ferramenta para incrementar a sustentabilidade de uma empresa ou parte dela tem sido pouco explorada na literatura que trata do tema. Cherrafi et al. (2016) realizaram um aprofundado estudo procurando trabalhos que examinassem as interfaces entre *lean*, Seis Sigma e sustentabilidade, cobrindo o período 1990 a 2015. Obtiveram 118 artigos que tratavam desse tema. A Figura 8 resume os achados da pesquisa realizada.

Figura 8 - As interfaces entre *Lean*, Seis Sigma e Sustentabilidade



Fonte: Adaptado Cherrafi et al. (2016).

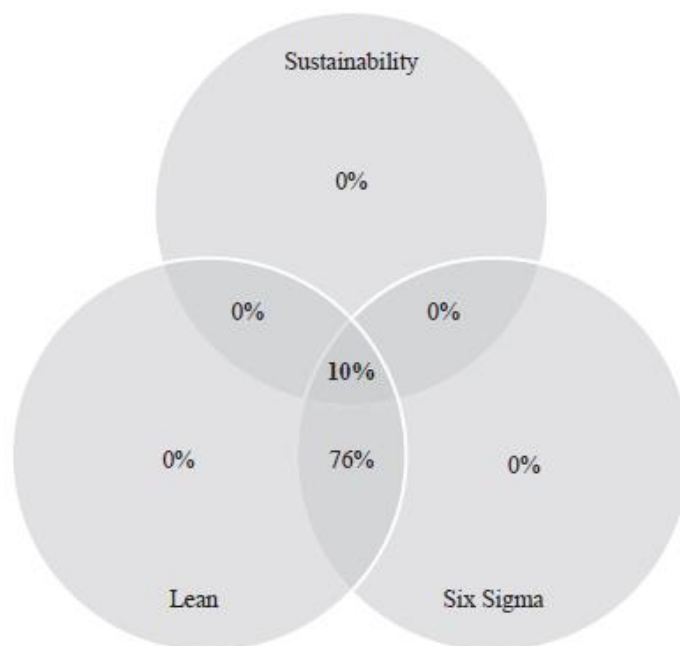
Como se observa, somente 8,5% dos artigos levantados exploraram a interface entre a técnica Seis Sigma e sustentabilidade. Embora o levantamento tenha trazido em torno de 10 artigos, Cherrafi et al não demonstraram de forma clara nas suas referencias bibliográficas, quais são estes artigos que fazem interfaces entre o Seis Sigma e Sustentabilidade, e se a sustentabilidade leva em consideração os aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Os autores Freitas e Costa (2017), realizaram uma revisão sistemática da literatura, buscaram identificar os impactos do Lean Seis Sigma nas organizações, analisando sua relação com o tripé da sustentabilidade. Após a categorização dos impactos com o tripé da sustentabilidade verificou-se que o Lean Seis Sigma se correlaciona muito mais com a dimensão econômica, no entanto, há um envolvimento moderado com a dimensão ambiental e social. Com base neste estudo foi caracterizado que o Lean Seis Sigma atua como um modelo de melhoria do desempenho econômico das organizações (FREITAS; COSTA, 2017). Alinhado a este estudo percebe-se a imprescindibilidade de desenvolver um modelo para melhoria da sustentabilidade nas três dimensões, ou seja, atuar de forma efetiva na dimensão ambiental, econômica e social.

Ainda, Freitas e Costa (2017) realizaram um estudo na base de dados Scopus com a intenção de identificar na literatura a interface do Lean, Seis Sigma e

Sustentabilidade. Com tal estudo foi possível identificar 100 artigos relacionados. Na Figura 9 é possível visualizar que dos 100 artigos encontrados pelos autores, nenhum relaciona o Seis Sigma com a Sustentabilidade. Ainda, Freitas et al. (2017) destacam a questão de outros artigos mencionarem o Lean, Seis Sigma e Sustentabilidade, contudo, essa sustentabilidade está ligada a perpetuação dos ganhos alcançados e não ao “triple bottom line”, ou seja, dimensão ambiental, econômica e social.

Figura 9 - As interfaces entre *Lean*, Seis Sigma e Sustentabilidade



Fonte: Freitas et al. (2017).

Finalmente, o autor deste trabalho realizou um estudo mais aprofundado sobre as interfaces da técnica Seis Sigma e Sustentabilidade (considerando-se aqui as três dimensões) e foi possível encontrar na literatura 5 artigos. Desses, 3 tratam sobre o Seis Sigma ligado diretamente ao tripé da sustentabilidade, ou seja, na dimensão ambiental, econômica e social, 1 artigo relacionado a sustentabilidade dos ganhos no processo e outro focado na sustentabilidade ambiental. No Quadro 10 é possível visualizar os artigos encontrados nas diversas bases de dados.

Na análise do artigo sobre os impactos do Lean Seis Sigma sobre a sustentabilidade organizacional, o objetivo do artigo foi avaliar os impactos do Lean Seis Sigma na sustentabilidade. A pesquisa buscou a percepção de 106 especialistas na técnica, entre eles, “*Green Belts*”, “*Black Belts*”, “*Master Black Belts*”

e “*Champions*” mediante um questionário, com o propósito de identificar a atuação do Lean Seis Sigma nos três pilares da sustentabilidade, ou seja, nos aspectos ambientais, econômicos e sociais. Com base na percepção dos especialistas os impactos dos projetos de Lean Seis Sigma têm uma maior influência sobre o pilar econômico (FREITAS et al. 2017). Como era de se esperar, o foco dos projetos Seis Sigma tem sido intensificado na melhoria dos aspectos econômicos. Tal constatação motiva a proposta de um modelo para realização de projetos de melhorias com foco nas três dimensões, ou seja, buscar a melhoria no *triple bottom line*.

Erdil et al. (2018) propôs incorporar a sustentabilidade em projetos Lean Seis Sigma. Para isso, foi desenvolvida uma estrutura genérica que pode ser aplicada a qualquer projeto. O foco proposto é introduzir os conceitos de sustentabilidade nos projetos. Para isso foi sugerido um quadro com os estudos de casos retirados da literatura. Apesar de o modelo proposto ser interessante, por se tratar de um modelo genérico que sugere a aplicação dos conceitos de sustentabilidade nas fases do projeto, ainda há necessidade de estruturação mais efetiva para ganhos reais do nível de sustentabilidade.

O artigo referente ao desempenho sustentável dos processos por meio da aplicação dos conceitos do Seis Sigma, teve como propósito confirmar os efeitos positivos da técnica Seis Sigma, sobre o desempenho corporativo e propor um modelo com a combinação de métodos e ferramentas para assegurar o desenvolvimento sustentável dos processos de negócios (SUJOVA et al. 2016). Como pode ser observado, este estudo não focou no *triple bottom line* da sustentabilidade.

No último artigo, o objetivo foi avaliar criticamente o Lean verde e integrar com Seis Sigma, com foco na melhoria da sustentabilidade ambiental (GARZA-REYES, 2015). Com base neste estudo é possível perceber que a proposta de integração do Lean verde com o Seis Sigma não leva em consideração as três dimensões da sustentabilidade, impossibilitando a melhoria do nível de sustentabilidade de um processo industrial.

De fato, como pode ser verificado ao longo de toda exploração da literatura realizada por este trabalho, o relacionamento do Seis Sigma com tripé da sustentabilidade não pode ser encontrado de maneira a atender aos objetivos propostos por esta tese. Assim, o modelo de integração das variáveis econômicas, ambientais e sociais no DMAIC, como sugerido por este trabalho, poderá agregar

conhecimentos relevantes tanto para o campo de conhecimento como para a prática diária da Engenharia de Produção e da Gestão de Operações, justificando-se, assim, o caráter de ineditismo necessário a uma tese de Doutorado.

3. MODELO DE INTEGRAÇÃO DA TÉCNICA SEIS SIGMA (DMAIC) COM VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SOCIAIS

Um dos principais objetivos dessa tese é integrar a técnica Seis Sigma (DMAIC) com variáveis ambientais e sociais com foco na melhoria do nível de sustentabilidade de um processo industrial e, por consequência, da empresa como todo.

Desta forma, foram sugeridas algumas modificações nas fases do DMAIC, conforme detalhado a seguir.

Na fase definir (*Define*) do Seis Sigma tradicional são, em geral, definidas as variáveis do processo estudado. Na versão modificada que aqui se propõe desenvolver são determinadas as variáveis ambientais e sociais a serem consideradas e devidamente incorporadas ao DMAIC por meio da utilização de suas respectivas métricas. Ainda, o *project charter*¹ de um projeto ao ser desenvolvido deverá levar em consideração, além das oportunidades de melhoria do processo no aspecto econômico, também as oportunidades de melhoria no aspecto ambiental e social, conforme detalhado abaixo:

- a) Caso do negócio: esta etapa descreve os benefícios de empreender o projeto dando foco nas oportunidades de melhoria do processo no aspecto econômico, ambiental e social. Essa descrição é importante para alinhar a equipe com os propósitos do projeto.
- b) Resumo da meta: define o objetivo do projeto, sendo específico, mensurável, atingível, relevante e limitado no tempo. Aqui devem ser identificados dois conjuntos de variáveis: a) o “Y” para a melhoria do processo (variável de saída do processo) e seus respectivos “x’s” (variáveis de entrada do processo); b) “S” para melhoria do nível de sustentabilidade do processo (variável de saída do processo) com seus respectivos “a’s”, “x,s” e “s,s” (variáveis de entrada ambientais, econômicas e sociais). É por meio dessa etapa que será medido o sucesso da equipe, uma vez que as variáveis de saída “Y” e “S” serão os indicadores principais do projeto. A equipe, atacando as variáveis de entrada “x’s”, “a’s” e “s’s”, irá reduzir a variabilidade da saída (“Y” e “S”).

¹ *Project charter* – é carta do projeto composta pelo caso do negócio, meta, cronograma, lista de oportunidades, escopo e equipe do projeto. Vide exemplo no Quadro 5.

Para a variável de saída “S” deverá ser identificada ao menos uma variável de entrada “a”, “x” e “s”. A meta proposta serve de direcionamento do projeto para a equipe.

- c) Lista de oportunidades: descreve o porquê devem-se tomar as iniciativas de melhoria. É fundamental para equipe do projeto conhecer as oportunidades de ganho para que haja uma motivação em executar o projeto. Nessa lista devem-se colocar as oportunidades de ganhos para o processo nos aspectos ambientais, econômicos e sociais, derivando-se as variáveis identificadas no resumo da meta. Para criar esta lista devem-se observar as oportunidades em empreender o projeto. Essa lista é feita pela equipe, por meio da ferramenta *brainstorm*.

No Quadro 11 é possível visualizar um exemplo de *Project Charter* incorporando as variáveis ambientais e sociais às variáveis de um processo usualmente consideradas em projetos Seis Sigma.

Quadro 11 - Exemplo de Project Charter considerando as variáveis ambientais e sociais

PROJECT CHARTER	
<u>Caso do Negócio</u>	Com uma projeção para 2017 de um mercado cada vez mais competitivo e mais exigente em relação à qualidade, prazo de entrega e sustentabilidade, identificou-se a necessidade de ações de melhorias na gestão da linha de produção para que possamos reduzir o tempo de ciclo do produto, atender os clientes no prazo, e melhorar a sustentabilidade do processo.
<u>Resumo da Meta</u>	<p>Y= reduzir o tempo de ciclo em 8% até março de 2017.</p> <p>S= aumentar o nível de sustentabilidade do processo em 6% até março</p> <p>x₁= Preparação (<i>setup</i>);</p> <p>x₂= Programação de produção;</p> <p>x₃= Programa CNC;</p> <p>x₄= Ferramental;</p> <p>x₅= Plano de controle.</p> <p>a₁= consumo de óleo solúvel;</p> <p>a₂= consumo de energia elétrica;</p> <p>a₃= consumo de inserto de usinagem;</p> <p>a₄= geração de resíduo de cavaco;</p> <p>s₁= treinamento no posto de trabalho;</p> <p>s₂= afastamento por acidente de trabalho;</p>
<u>Lista de Oportunidades</u>	<p>Processo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento da capacidade produtiva; • Redução de atraso ao cliente; • Competitividade; <p>Meio Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Redução do consumo de insumos; • Redução na geração de resíduos; • Aumento do nível de consciência ambiental da empresa; <p>Social</p> <ul style="list-style-type: none"> • Redução de horas perdidas por acidentes • Horas de treinamentos <p>Geral</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melhoramento da imagem com os <i>stakeholders</i>.

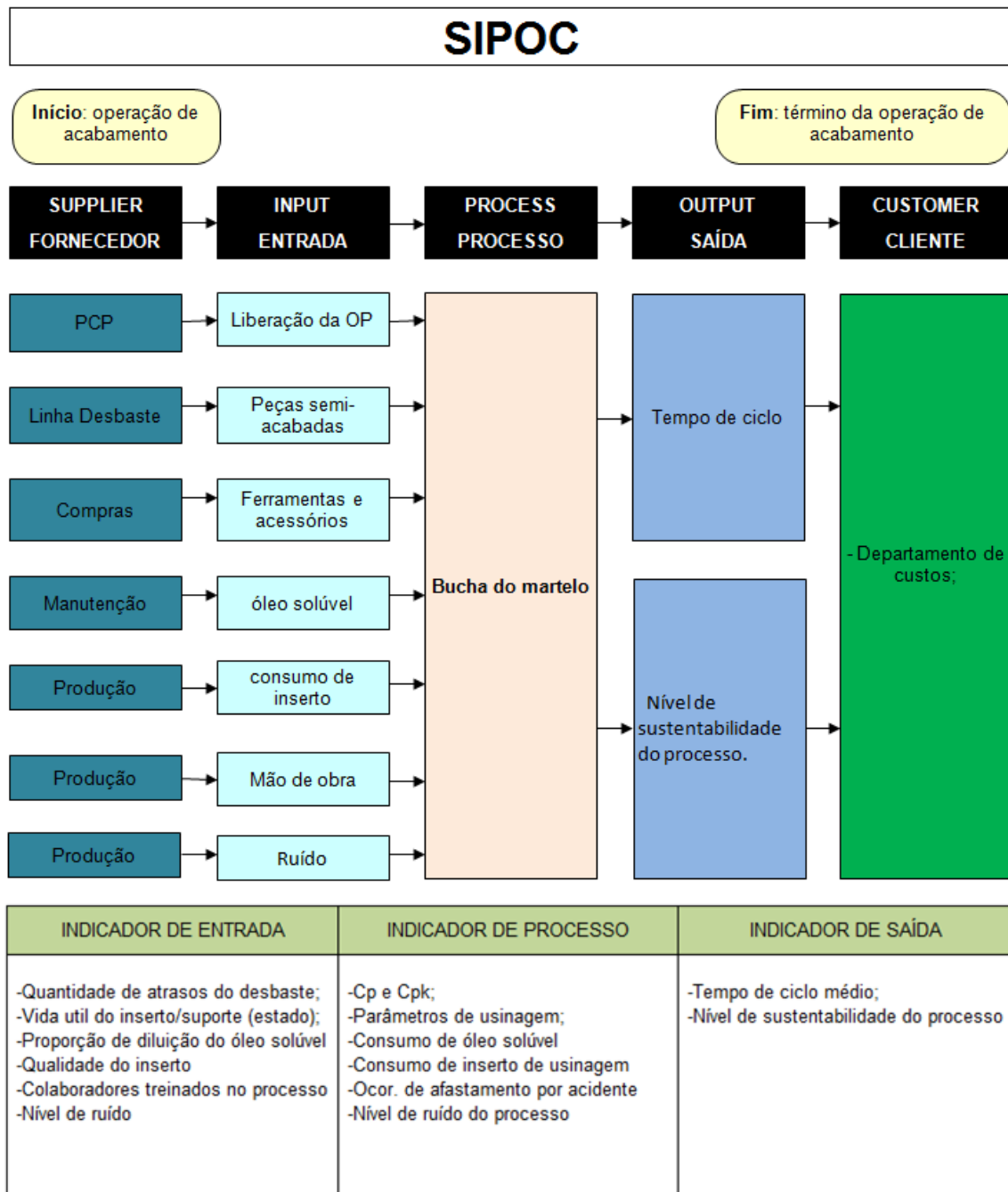
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na identificação das fases do processo é realizado o mapeamento do processo por meio da ferramenta SIPOC² (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*), nessa fase são identificadas as entradas e saídas, ou seja, os “Y”, “x”, “S”, “a”, “x” e “s”. O mapa do processo é o pilar para a comunicação, identificação dos ganhos rápidos e proporciona uma visão passo a passo do processo em estudo. O SIPOC é elaborado em conjunto com a equipe, identificando os fornecedores, as

² SIPOC – Mapa de gestão do processo, no qual é possível visualizar todas as entradas e seus fornecedores, o processamento das entradas e as saídas para o cliente.

entradas, os processos, as saídas e os clientes. Após definido o SIPOC são identificados os indicadores de entrada, de processo e de saída. No SIPOC e nos indicadores identificados são contempladas as variáveis de processo, ambientais e sociais. No Quadro 12 é possível visualizar um exemplo de SIPOC e indicadores de entrada, processo e saída considerando as variáveis de processos, ambientais e sociais.

Quadro 12 – Exemplo de SIPOC considerando as variáveis de processos, ambientais e sociais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na fase medir (*Measure*) é determinado o plano de medição contemplando as variáveis do processo, ambientais e sociais, bem como avaliado o método de medição e coleta dos dados. O plano de medição deve ser construído com base no mapeamento do processo (SIPOC) e precisa levar em consideração os indicadores de entrada, de processo e de saída. Para uma coleta de dados confiável é necessário realizar uma análise do sistema de medição (MSA) e avaliar a capacidade do processo. A coleta de dados precisa ser representativa e aleatória, tornando essa etapa fundamental. Na fase medir (*Measure*) é comum encontrar ganhos rápidos (*Quick win*), que são resultados acelerados, fáceis de implementar e de baixo custo. Ao identificar um ganho desses, tanto para a melhoria ambiental, social ou para a melhoria do processo, as ações que o gera são implementadas imediatamente. Nesta fase é identificado o estado atual das variáveis do projeto e calculado o nível de sustentabilidade como proposto neste capítulo dessa tese. Depois de identificado o nível atual de sustentabilidade, ele é colocado na plataforma ardente (ferramenta que demonstra o estado atual do projeto e o seu estado desejado futuro). Essa ferramenta é de alta relevância para equipe, pois nela são definidos claramente a meta e o objetivo do projeto.

Na fase analisar (*Analyze*) são estratificados todos os dados por intermédio das ferramentas estatísticas, identificando os “x’s”, “a’s” e “s’s”. Com a contribuição da ferramenta diagrama de causa e efeito (Ishikawa) são identificadas as prováveis causas, que tem por objetivo apresentar a relação existente entre determinado resultado de um processo (um efeito) e os diversos fatores (causas) que podem influenciar nas variáveis de saída (Y e S). Além dessa ferramenta pode-se utilizar o gráfico de Pareto, com a finalidade de identificar os principais tipos de falhas com base na frequência de ocorrência de cada uma delas. Posteriormente identificadas às causas podem-se utilizar distintas ferramentas estatísticas tais como: a) teste de hipótese, utilizado com o objetivo de decidir se uma afirmação é verdadeira ou não em relação a um parâmetro, b) análise de variância (ANOVA) utilizada para comparar se as várias médias (mais que duas) são iguais, c) *FMEA (failure mode and effect analysis)*, análise do modo e do efeito de falha, utilizado para identificar todas as possíveis falhas potenciais, determinar o efeito, priorizar os modos de falha e identificar as ações que possam eliminá-la. Nesta hora, o especialista em estatística denominado Black Belt, deve aplicar o máximo de ferramentas

estatísticas com o objetivo em identificar as causas raízes, tanto as que impactam na performance econômica do processo como as ambientais e sociais.

Na fase seguinte, melhorar (*Improve*), a equipe efetiva as melhorias propostas na fase anterior, visto que os dados estatísticos identificados são traduzidos em informações que possibilitam a melhoria do processo e também da sustentabilidade. Nesta fase a equipe define e implementa o plano de melhoria para eliminar as causas raízes com foco no processo, meio ambiente e social. Para elaboração do plano de melhoria pode-se utilizar a ferramenta ³5W2H. Nessa etapa o *Black Belt* aplica junto com a equipe e, aonde possível, conceitos de manufatura enxuta, com o objetivo de obter redução de desperdícios. Quando aplicável, deve-se adotar o DOE (*design of experiments*), delineamento de experimento, que tem por objetivo: a) determinar que fatores (“x’s”, “a’s” e “s’s”) possuem maiores influências sobre a resposta (“Y” e “S”), b) determinar como ajustar os fatores (“x’s”, “a’s” e “s’s”), de modo que a resposta (“Y” e “S”) tenha o valor desejado, c) determinar como ajustar os fatores (“x’s”, “a’s” e “s’s”) de forma que a variação seja a menor possível. Deve ser aplicado pelo *Black Belt* para aumentar a capacidade do processo, reduzindo a variabilidade tanto do processo como a do meio ambiente e social.

Enfim, na fase controlar (*Control*), é estabelecido um plano para monitorar e garantir a perpetuação das melhorias implementadas. Este plano tem por objetivo manter os resultados alcançados no processo e na sustentabilidade do processo. Nesta fase são definidos métodos de controle e é fundamental que o dono do processo (*process owner*) utilize a gestão visual para garantir os ganhos ambientais, econômicos e sociais. Pode-se utilizar também nesta etapa o controle estatístico (CEP) para monitorar a capacidade do processo. A equipe deve preparar as instruções e procedimentos documentados e treinar os envolvidos. Essa ação é fundamental para o alinhamento de todos os comprometidos no procedimento. Para o monitoramento do projeto o *Black Belt* deve propor um *check list* para a auditoria e sua frequência de realização. Os resultados dos indicadores devem ser medidos e analisados. Essa atividade deve ser designada ao dono do processo (*process owner*), pois caso os resultados tendam a uma deterioração, ele possa tomar ações para reverter o desvio e voltar ao estado no qual foi finalizado o projeto. Convém que os ganhos na melhoria da sustentabilidade sejam avaliados pela área financeira e

³ 5W2H – Ferramenta para estruturar o plano de ação.

área de meio ambiente, saúde e segurança no trabalho da organização, podendo isso ser feito em conjunto.

Como se observa, o método DMAIC integrado com as variáveis ambientais e sociais tem por objetivo, além de reduzir a variabilidade do processo, reduzir também a variação dos impactos ambientais e sociais. O foco principal é identificar a variável de saída do processo (Y) e a variável de saída sustentabilidade (S). Em resumo, o passo principal do modelo que aqui se propôs está em identificar na primeira fase (*define*) além das variáveis de saída e as variáveis de entrada do processo de produção também as variáveis de saída e de entrada ambientais e sociais. Depois de identificadas as variáveis de entrada e saída e de se mapear o processo, deve-se coletar os dados e medir o estado atual do processo, o nível de sustentabilidade, e propor os níveis futuros tanto das variáveis do processo como da sustentabilidade pós a implementação das melhorias. Na fase analisar (*analyze*) deve-se identificar as prováveis causas de variações do processo e também ambientais e sociais, e implementá-las. Na fase controlar (*control*) deverá ser criado um plano de controle que garanta a perpetuação dos ganhos ambientais, econômicos e sociais para o processo e para a empresa como um todo.

Em virtude deste modelo, combinar as melhorias nos processos com a elevação do nível de sustentabilidade como resultado a aplicação da técnica Seis Sigma, propõe-se denominá-lo de *Seis Sigma Sustentável*.

Para que seja possível realizar a aplicação do modelo, é necessário um procedimento para medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial, de modo que seja possível integrar as três dimensões da sustentabilidade em uma única grandeza. Com isso, será proposto um procedimento para medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial a seguir.

3.1. PROPOSTA PARA MEDIÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE UM PROCESSO INDUSTRIAL

Conforme discutido extensivamente na revisão da literatura, a sustentabilidade de uma empresa ou processo de fabricação deve considerar os três pilares: ambiental, econômico e social.

Para poder estabelecer uma grandeza única que integre esses três aspectos, é necessário assumir inicialmente que os aspectos econômicos associados a um

determinado processo de fabricação "P" sejam representados por um conjunto de "n" variáveis financeiras designadas por $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$. Para caracterizar o desempenho financeiro do processo "P", considere-se o vetor f_p , cujos elementos sejam compostos pelas variáveis financeiras indicadas acima e que na sua versão transposta (f'_p) apresenta-se como mostrado na equação (1).

$$f'_p = [f_1, f_2, f_3, \dots, f_n] \quad (1)$$

Como parte do desenvolvimento aqui proposto, esta tese propõe considerar nível de desempenho financeiro de um processo de fabricação "P" (P_f) como o comprimento do vetor f'_p . Para calcular esse comprimento, Johnson e Wichern (1998) afirmam que ele pode ser determinado como apresentado na equação (2).

$$P_f = \sqrt{(f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + \dots + f_n^2)} \quad (2)$$

Por outro lado, considere-se que os recursos ambientais ligados a um determinado processo de fabricação "P" sejam caracterizados por um conjunto de variáveis ambientais "m" designadas por $e_1, e_2, e_3, \dots, e_m$. Daqui em diante, um vetor representado pela sua versão transposta (e'_p), como mostrado na equação (3), pode ilustrar o desempenho ambiental do processo "P".

$$e'_p = [e_1, e_2, e_3, \dots, e_m] \quad (3)$$

Da mesma forma, este estudo sugere chamar o nível de desempenho ambiental de um processo de fabricação "P" (P_e) como o comprimento do vetor e'_p , que também pode ser calculado conforme a equação (4).

$$P_e = \sqrt{(e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_m^2)} \quad (4)$$

Finalmente, considere-se que o aspecto social relacionado a um determinado processo de fabricação "P" seja representado por um grupo de variáveis sociais "p" designadas por $s_1, s_2, s_3, \dots, s_p$. A seguir, um vetor representado pela sua versão

transposta (s'_P), conforme revelado na equação (5), pode representar o desempenho ambiental do processo "P".

$$s'_P = [s_1, s_2, s_3, \dots, s_p] \quad (5)$$

Como parte das proposições feitas por este estudo, é sugerido chamar o nível de desempenho social de um processo de fabricação "P" (P_s) como o comprimento do vetor s'_P , que pode ser determinado segundo a equação (6).

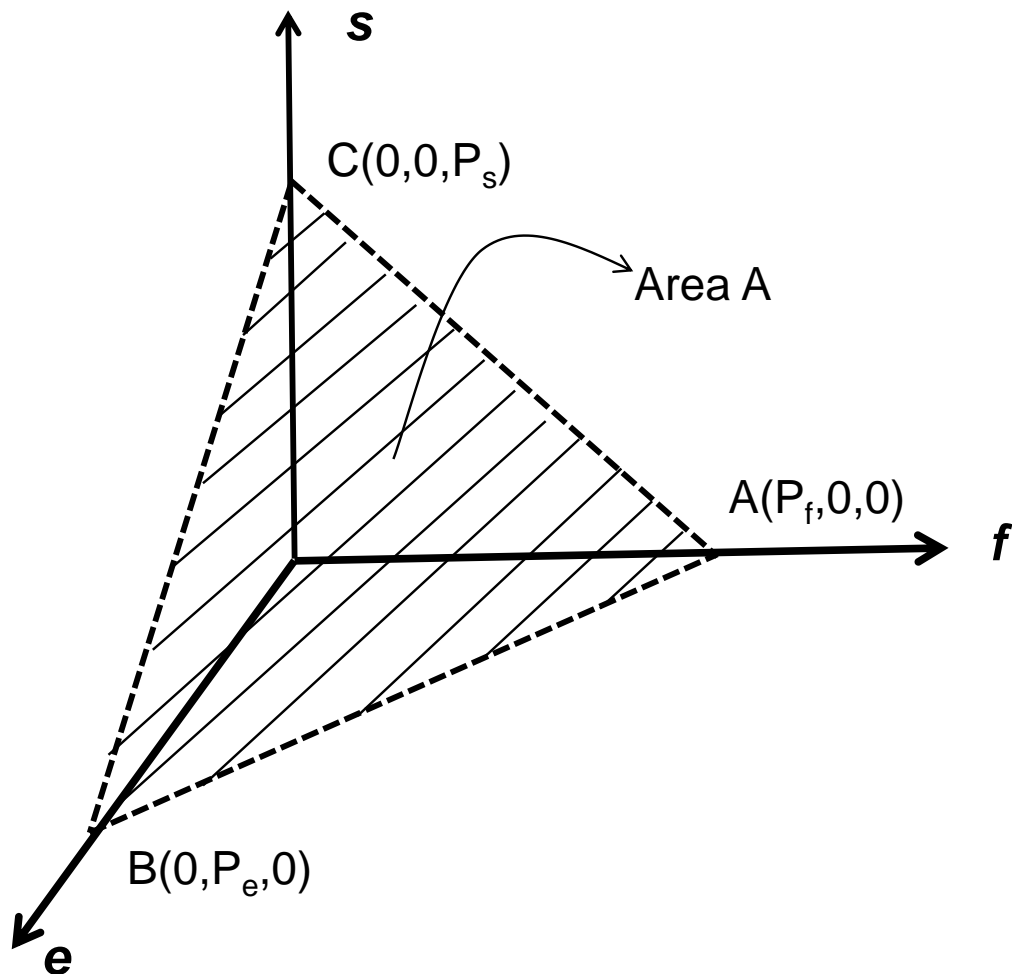
$$P_s = \sqrt{(s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots + s_p^2)} \quad (6)$$

No entanto, como já mencionado anteriormente, medir o nível de sustentabilidade de um processo de fabricação por meio de três indicadores diferentes (econômicos, ambientais e sociais) pode apresentar uma limitação prática. Considere-se, como exemplo, uma situação hipotética em que uma área de fabricação apresentando alto nível de problemas ergonômicos decide resolver esta questão aumentando o tempo de ciclo das máquinas. Em princípio, a eliminação das situações críticas ergonômicas irá melhorar o nível de desempenho social do processo de fabricação em consideração. Por outro lado, o aumento dos tempos de ciclo aumentará os custos de produção, o que resultará em uma redução no nível de desempenho financeiro desse mesmo processo. Se for esse o caso, o que aconteceu com o nível de sustentabilidade global desse processo? Aumentou? Diminuiu? Permaneceu inalterado? Com base nos três indicadores separados, não há como responder a essas questões.

Para superar esta dificuldade, este estudo propõe estabelecer uma única medida combinada para medir o nível de sustentabilidade de um processo de fabricação (S) da seguinte forma:

Considere-se um sistema de referência ortogonal cartesiano R3 onde cada eixo representa um dos três pilares da sustentabilidade como mostrado na Figura 10 (o eixo financeiro - f, o eixo ambiental - e, o eixo social - s). Em cada eixo, marque-se o seu respectivo nível de desempenho que definirá três pontos: A ($P_f, 0, 0$), B ($0, P_e, 0$) e C ($0, 0, P_s$). Veja a Figura 10.

Figura 10 – O sistema de referência ortogonal cartesiano R3 proposto por este trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser visto os três pontos A, B e C definem em R3 um triângulo nesse sistema de referência ortogonal cartesiano. Este estudo propõe chamar o nível de sustentabilidade do processo de fabricação " P " (S_P) à área definida pelo triângulo ABC. Ao fazer isso, é possível superar a limitação prática anteriormente mencionada. De fato, retornando à situação hipotética acima mencionada, agora é possível saber o que aconteceu com o nível de sustentabilidade do processo considerado após as mudanças feitas para eliminar os problemas ergonômicos. Suponha-se que a área do triângulo ABC antes das mudanças era A_1 e após as ações para corrigir os problemas ergonômicos passou a ser A_2 (depois de aumentar P_s e reduzir P_f). Pelo que está sendo proposto neste trabalho, se $A_2 > A_1$, assume-se que o nível de sustentabilidade do processo de fabricação " P " aumentou.

Contrariamente, se $A2 < A1$, o nível de sustentabilidade diminuiu. Além disso, se $A2 = A1$, permaneceu inalterado.

Seguindo com o presente desenvolvimento, a área do triângulo ABC (nível de sustentabilidade do processo de fabricação "P") pode ser determinada da seguinte forma. Primeiro, é possível calcular o comprimento de cada lado do triângulo ABC (TUSSY; GUSTAFSON, 2010):

$$AB = \sqrt{(0 - P_f)^2 + (P_e - 0)^2 + (0 - 0)^2} = \sqrt{P_f^2 + P_e^2} \quad (7)$$

$$BC = \sqrt{(0 - 0)^2 + (0 - P_e)^2 + (P_s - 0)^2} = \sqrt{P_e^2 + P_s^2} \quad (8)$$

$$AC = \sqrt{(0 - P_f)^2 + (0 - 0)^2 + (P_s - 0)^2} = \sqrt{P_f^2 + P_s^2} \quad (9)$$

Conhecendo o comprimento dos três lados do triângulo ABC, é possível calcular sua área A por meio da seguinte fórmula de Heron (TUSSY; GUSTAFSON, 2010):

$$A = \sqrt{p(p - AC)(p - AB)(p - BC)} \quad \text{Onde:} \quad p = \frac{AC + AB + BC}{2} \quad (10)$$

Em conclusão, com base no modelo proposto por este trabalho, o procedimento para determinar o nível de sustentabilidade do processo de fabricação "P" pode ser realizado por meio das seguintes etapas:

- Selecione as variáveis dos aspectos econômicos do processo. "P" (f_1, \dots, f_n);
- Idem para os aspectos ambientais (e_1, e_2, \dots, e_m);
- Idem para os aspectos sociais (s_1, s_2, \dots, s_p);
- Calcule o desempenho econômico do processo "P" usando a equação (2);
- Calcule o desempenho ambiental do processo "P" usando a equação (4);
- Calcule o desempenho social do processo "P" usando a equação (6);
- Calcule a área A do triângulo ABC usando equações (7) a (10). A Área A representará o nível de sustentabilidade do processo de fabricação "P".

Com base nesse desenvolvimento, será possível monitorar o progresso do nível de sustentabilidade de um determinado processo de fabricação, replicando o procedimento acima mencionado no decorrer do tempo. Se a área "A" aumentar, o nível de sustentabilidade irá crescer, de outra forma estará diminuindo ou permanecerá constante.

Para melhorar a compreensão da utilização prática do modelo proposto por este trabalho, desenvolveu-se um estudo no qual ele foi aplicado a uma situação do mundo real e que está descrito no Capítulo 5, a pesquisa-ação.

4. MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo foi desenvolvido para descrever o modelo proposto para a medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial, assim como, a metodologia de pesquisa adotada para o desenvolvimento dessa tese. Dentre os vários tipos de métodos de pesquisa existentes, foi selecionada a pesquisa-ação, que em função do cenário se mostrou a mais adequada ao desenvolvimento desta tese, pois o objetivo proposto de integrar as variáveis ambientais e sociais na técnica Seis Sigma está ligado diretamente a uma mudança na prática, tornando-se possível um aprendizado e também a geração de conhecimento científico por intermédio da ação.

4.1. A ESCOLHA DO MÉTODO DE PESQUISA

Para Reason e Bradbury (2001), a pesquisa-ação procura reunir a teoria e a prática, tornando-se um processo participativo em busca de soluções objetivas de relevância para o pesquisador. O termo pesquisa-ação pode ser dividido em duas vertentes, pesquisa refere-se à produção de conhecimento científico, enquanto o termo ação indica uma alteração intencional de uma dada realidade por parte do pesquisador (MELLO, 2012). Alinhado a este conceito, Coughlan e Coughlan (2002) considera a pesquisa-ação como sendo uma abordagem científica para estudar a resolução de uma questão social ou organizacional, envolvendo as pessoas que vivem essa questão diretamente.

Uma pesquisa só é considerada válida quando suas conclusões ou inferências são verdadeiras (SCHWAB, 2005). No caso da aplicação do modelo de integração da técnica Seis Sigma com as variáveis ambientais e sociais, com propósito de melhorar o nível de sustentabilidade do processo, o método de pesquisa-ação se mostrou adequado, pois o projeto Seis Sigma aqui desenvolvido foi conduzido por um *Black Belt*, líder da equipe do projeto e autor desta tese. Para a aplicação do modelo proposto, a equipe do projeto atuou de forma participativa e com foco na solução prática do problema. Para a aplicação desse trabalho foram seguidas 4 etapas sugeridas por Zuber-Skerrit e Perry (2002), ou seja, planejar, tomar ação, avaliar a ação, planejar novamente e recomeçar o ciclo. Esse tipo de abordagem se torna participativa, em consequência de a equipe envolvida no estudo

participar ativamente na solução do problema. Para Cauchick Miguel (2011) a meta principal da pesquisa-ação não é apenas a resolução de um problema imediato, a pesquisa-ação precisa ser concorrente com a ação, ou seja, têm que gerar também uma contribuição ao conhecimento científico.

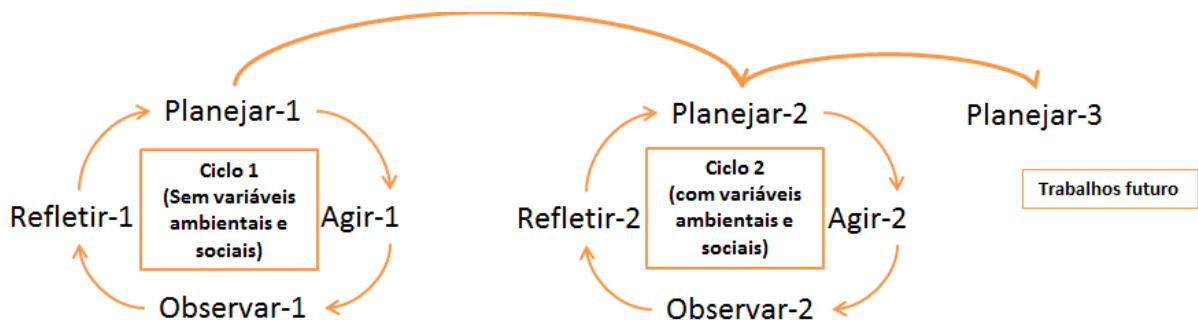
Para uma pesquisa ser qualificada como pesquisa-ação é necessário à implantação de uma ação por parte da equipe inserida na resolução do problema (THIOLLENT, 2007). Alinhado a esses conceitos, a pesquisa-ação têm por objetivo realizar trabalhos com pequenos grupos, que tenham conhecimento, motivados e estejam interessados em resolver um problema na prática e gerar conhecimento científico (ZUMBER-SKERRIT; FLETCHER, 2007). A aplicação do projeto Seis Sigma foi conduzida neste trabalho com uma pequena equipe motivada, no qual todos os envolvidos participaram diretamente na solução do problema. Neste trabalho foi desempenhado um estudo profundo e detalhado com foco na investigação das causas raízes, para isso, utilizou-se de ferramentas estatísticas e da qualidade que propiciaram uma investigação aprofundada das causas raízes incidente ao problema estudado. Entre as ferramentas utilizadas, podemos destacar: Gráfico de Pareto, diagrama de causa e efeito, carta de controle, a coleta de dados, etc., o que tornou a pesquisa-ação ideal para este tipo de pesquisa.

Por outro lado, é interessante notar que a maioria dos pesquisadores aprendem a fazer na maioria das vezes pesquisas voltadas para o método quantitativo durante a sua formação acadêmica. No entanto, a pesquisa-ação é predominantemente qualitativa, e para muitos pesquisadores ela pode se tornar uma nova e interessante experiência, principalmente, combinada com método quantitativo, (ZUMBER-SKERRIT; FLETCHER, 2007).

A pesquisa-ação realizada neste trabalho foi desenvolvida em dois ciclos, como mostrado na Figura 11. O projeto Seis Sigma foi conduzido pelo especialista na técnica Seis Sigma, denominado como *Black Belt* e autor dessa tese. No ciclo 1 a equipe do projeto seguiu os seguintes passos: a) Planejar: planejou a fase 1 que consistiu em implementar o projeto Seis Sigma tradicional, ou seja, sem considerar as variáveis ambientais e sociais, b) agir: implementou as ações necessárias definidas na etapa anterior, c) observar: mediu os resultados obtidos e o nível de sustentabilidade alcançado no processo estudado, d) refletir: verificou se houve melhora do nível de sustentabilidade do processo em estudo, antes e depois da aplicação do Seis Sigma tradicional, sem considerar as variáveis ambientais e

sociais. Na etapa seguinte, a equipe repetiu um novo ciclo, o ciclo 2, considerando então o modelo proposto por esta tese, a técnica Seis Sigma integrada com as variáveis ambientais e sociais como parte do DMAIC. Foi repetida a mesma sequência de eventos: a) planejar: foi realizado o planejamento da fase 2 considerando a técnica Seis Sigma integrada com as variáveis ambientais e sociais, b) agir: implementou o plano definido na etapa anterior, c) observar: mediu os resultados, com destaque para os indicadores ambientais e sociais, d) refletir: analisou e comparou os resultados alcançados no ciclo 1 e 2 com o propósito de verificar se efetivamente a integração das variáveis ambientais e sociais geraram um maior nível de sustentabilidade no processo estudado e, por consequência, na empresa como um todo. E por fim, refletiu-se sobre todo o processo da pesquisa-ação e relatou-se o que foi aprendido e o que foi feito por meio deste trabalho.

Figura 11 - Desenvolvimento dos projetos com a pesquisa-ação



Fonte: Adaptado de Zuber-Skerrit e Perry (2002).

4.2. O PLANEJAMENTO DA AÇÃO

Para sustentar a pesquisa-ação proposta por esta tese, foi selecionada uma empresa do setor metal mecânico, com cerca de 500 funcionários que realiza operações na manufatura de fundidos e usinados não ferrosos, atendendo a seus clientes sob pedido. Seus principais segmentos de atuação são: mineração (60% de seu faturamento), energia (15%), tratores (15%) e outros (10%). Tem 40 % de suas vendas realizadas para o mercado nacional e 60% para o internacional. A escolha dessa empresa deu-se por conveniência em função dos seguintes facilitadores: o pesquisador autor desta tese pertence ao seu quadro de funcionários por mais de 20

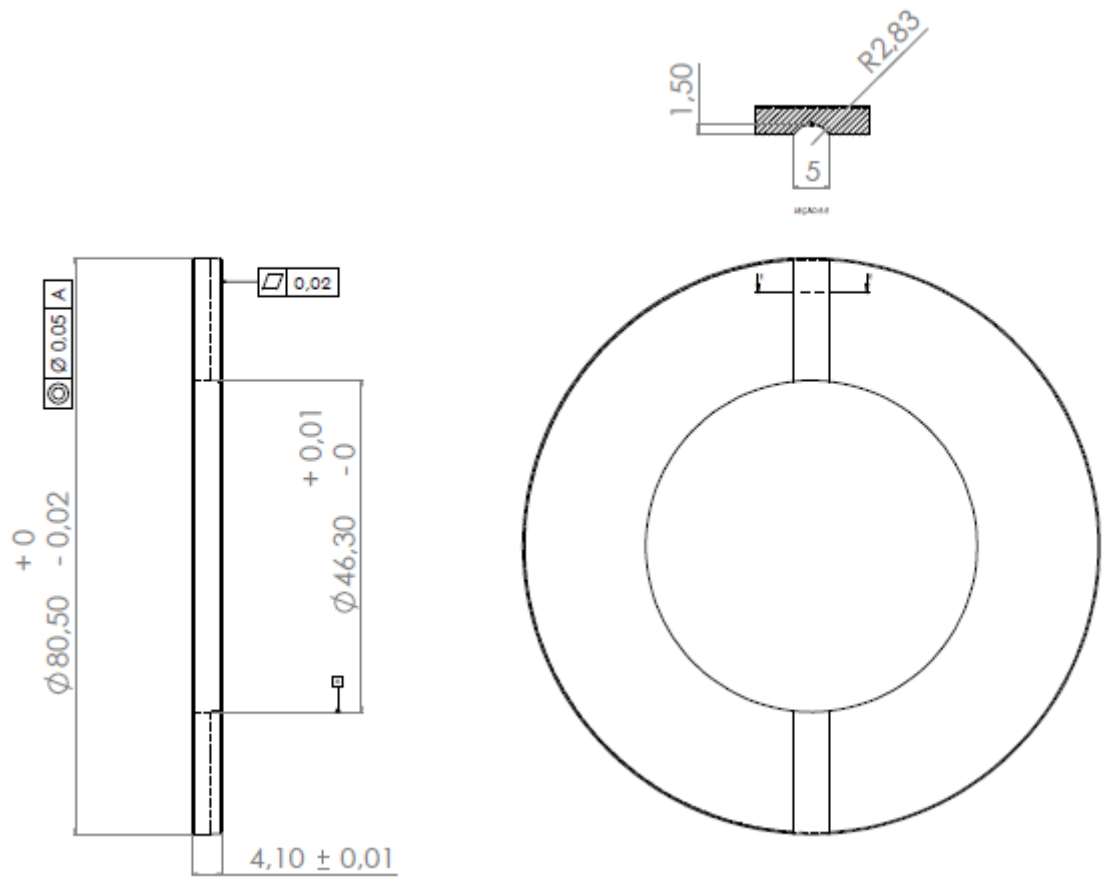
anos, exercendo a função de Black Belt desde o ano de 2010. Em função disso, a empresa concedeu livre acesso a todas as informações necessárias para a realização deste trabalho, pois também estava ciente que, assim procedendo, estaria também capitalizando as melhorias econômicas, ambientais e sociais para o processo de produção escolhido.

A organização em questão possui a técnica Seis Sigma implementada há 13 anos, durante os quais já desenvolveu mais de 40 projetos na área de usinagem, em sua grande maioria voltada para redução do tempo de ciclo ou preparação de máquina (*setup*). A técnica Seis Sigma tem demonstrado ser, nesta empresa, uma ferramenta eficaz para a melhoria dos processos industriais. Em busca de melhoria contínua a empresa certificou-se na ISO 9001, IATF 16949 e também focada na melhoria do seu desempenho ambiental e social, implementou e certificou o seu sistema de gestão ambiental, saúde e segurança no trabalho apoiado na ISO 14001 e OHSAS18001.

Dentre os processos industriais da empresa escolhida, este trabalho selecionou para desenvolver a pesquisa-ação aqui proposta um processo de usinagem, por se tratar de uma área nas quais diversas variáveis afetam a sustentabilidade deste processo, além de representar a área de maior investimento e de maior relevância para a qualidade dos produtos fornecidos pela empresa.

A área de usinagem escolhida para o estudo em questão tem uma máquina de usinagem CNC que opera seis dias por semana em três turnos, e foi escolhida devido a três principais razões: a) engloba um conjunto de indicadores de sustentabilidade muito adequado para demonstrar uma aplicação do modelo proposto; b) é usado para usinar vários tipos de peças cilíndricas complexas, mas muito semelhantes entre si (para evitar a influência do mix de produção nos níveis de sustentabilidade), neste caso foi escolhido o anel de encosto de código B312, que pode ser visualizado na Figura 12; e c) apresentou um problema operacional cuja à resolução afetou vários indicadores de sustentabilidade. Essas características tornam o equipamento muito adequado para a pesquisa em questão. Como parte de seu sistema de monitoramento da sustentabilidade na área industrial, a empresa monitora um conjunto de indicadores econômicos, ambientais e sociais para esta máquina em particular, conforme expresso na Tabela 3.

Figura 12 – Anel de encosto B312



Fonte: Adaptado do desenho do cliente.

Tabela 3 – Indicadores iniciais de sustentabilidade utilizados para a máquina de usinagem CNC

Aspectos	Indicadores	Unidades de medição
Ambiental	e ₁ - geração de cavacos	Peças / kg
	e ₂ - consumo de óleo solúvel	Peças / litros
	e ₃ - consumo de inserto de Usinagem	Peças / arestas de corte
	e ₄ - consumo de energia elétrica	Peças / 10 kwh
Econômico	f ₁ - tempo de ciclo	Peças / hora
	f ₃ - custo da mão-de-obra	Peças / R\$ 10,00
Social	s ₁ - nível de iluminação	(Lux real / Lux padrão) x10
	s ₂ - horas perdidas devido acidentes	Peças / (hora x 10 ³)
	s ₃ - horas de treinamento	Hora / (peça x 10 ⁻⁶)
	s ₄ - nível de ruído	(dB padrão / dB real) x10

Fonte: Empresa pesquisada.

5. A PESQUISA-AÇÃO

Com o objetivo de verificar a possibilidade de aplicação do modelo proposto no capítulo anterior em cenários do mundo real, foi desenvolvida uma pesquisa-ação por meio da aplicação de um projeto Seis Sigma considerando as variáveis ambientais e sociais, num processo de usinagem. A aplicação do projeto Seis Sigma aconteceu em uma única etapa, porém para tratar de forma didática, foi desenvolvida uma pesquisa-ação em dois ciclos. No primeiro ciclo da pesquisa-ação, na qual, escolhido um processo de usinagem, foi desenvolvido um projeto Seis Sigma sem considerar as variáveis ambientais e sociais, ou seja, no modelo tradicional. Como parte integrante deste ciclo da pesquisa-ação, foram avaliados os ganhos, incluindo-se eventuais ganhos no nível de sustentabilidade do processo estudado. No segundo ciclo da pesquisa-ação, foram adicionadas as variáveis ambientais e sociais no projeto Seis Sigma, seguindo o modelo proposto no capítulo anterior. Por último, foram realizadas as comparações dos níveis de sustentabilidade do processo estudado, antes do projeto Seis Sigma, após a aplicação do projeto Seis Sigma convencional e por fim o nível de sustentabilidade com o projeto Seis Sigma modificado, ou seja, o modelo proposto.

5.1. O NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE ANTES DO PROJETO SEIS SIGMA

Como parte inicial deste estudo e com o objetivo de validar a proposta do modelo sugerido por este trabalho, foi realizada a determinação do nível de sustentabilidade do processo estudado, antes da implementação do projeto Seis Sigma. Tal valor serviu de base para comparações da evolução do nível de sustentabilidade do processo à medida que o projeto avançasse, e também para definir o *baseline*⁴ e meta do projeto. Na Tabela 4 é possível visualizar o resultado do nível de sustentabilidade do processo estudado, tal cálculo, foi desenvolvido utilizando-se a proposta para medição do nível de sustentabilidade de um processo, detalhado no capítulo 3. Para a realização do cálculo do nível de sustentabilidade do processo foi necessário considerar os três pilares da sustentabilidade, ou seja, aspecto econômico, ambiental e social.

⁴ Baseline – Linha base do projeto é utilizada para determinar a meta.

Para compor essas três dimensões foram selecionadas as seguintes variáveis do processo em estudo. Para o aspecto ambiental: a) geração de cavacos, b) consumo de óleo solúvel, c) consumo de inserto de usinagem, e d) consumo de energia elétrica. Para o aspecto econômico foram considerados: a) tempo de ciclo e b) custo da mão de obra. Por fim, as variáveis para o aspecto social foram: a) nível de iluminação, b) horas perdidas devido acidentes com os colaboradores, c) horas de treinamentos, e d) nível de ruído. Com base nessas variáveis foram definidos os indicadores para medição. Tais indicadores foram elaborados de maneira que sua evolução ocorresse no mesmo sentido, ou seja, quanto maior o resultado melhor o desempenho, já que o cálculo leva em consideração o comprimento dos vetores.

Para os indicadores ambientais foram definidos: a) quantidade de peças produzidas por quilo de cavaco gerado, b) quantidade de peças produzidas por litro de óleo solúvel consumido, e c) quantidade de peças produzidas por aresta de corte do inserto de usinagem, e d) quantidade de peças produzidas a cada 10kWh consumido. Para o aspecto econômico foram definidos os indicadores: a) quantidade de peças produzidas por hora, e b) quantidade de peças produzidas a cada R\$10,00 de mão de obra. Para o aspecto social foram estabelecidos: a) iluminação real do posto de trabalho dividida pela iluminação definida como padrão, b) quantidade de peças produzidas por quantidade de horas perdidas, devido acidentes, c) quantidade de horas de treinamentos por quantidade de peças produzidas, e por fim d) ruído detectado no posto de trabalho dividido por ruído determinado como padrão.

Depois de definidos os indicadores e coletados os dados, foi calculado o comprimento dos vetores para o aspecto ambiental, econômico e social. Em seguida, foi calculado o comprimento de cada lado do triângulo, ou seja, AB, BC e AC. Com o comprimento de cada lado do triângulo foi possível determinar a área do triângulo, que resulta no nível de sustentabilidade do processo em estudo, conforme proposta de medição detalhada no capítulo 3.

Na Tabela 4 é possível notar que o nível de sustentabilidade do processo foi de 147,27. Tal resultado representa a área do triângulo formado pelos lados AB, AC e BC, Figura 13. Esse nível de sustentabilidade é decorrente do aspecto ambiental que teve sua performance de 104,84 que calculado o lado do triângulo com a performance econômica de 50,86, resultou em 116,52 (AB). Já o lado da performance econômica com a performance social de 41,14 resultou em um lado do triângulo com comprimento de 65,41 (AC). O lado entre a performance ambiental e

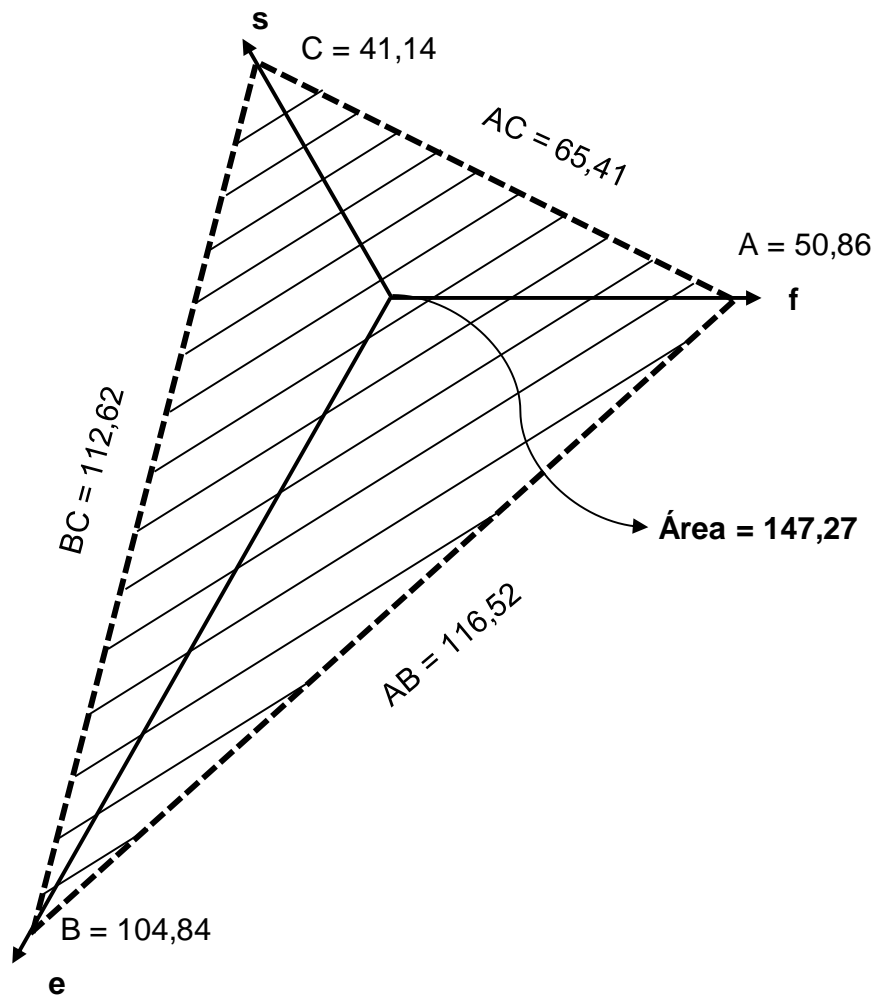
social teve um comprimento de 112,62 (BC). Os resultados podem ser observados em detalhes na Tabela 4. É importante observar que se cuidou para que todos os indicadores tivessem mesma ordem de grandeza, para evitar distorções como mencionado no Capítulo 3.

Tabela 4 - Sustentabilidade antes do projeto Seis Sigma

Aspectos	Indicadores	Valores	Performance	AB, AC, BC	Nível de sustentabilidade
Ambiental	e ₁ - geração de cavacos (peças / kg)	16,32	104,84	116,52	147,27
	e ₂ - consumo de óleo solúvel (peças / litro)	62,61			
	e ₃ - consumo de inserto de Usinagem (peças / arestas de corte)	55,55			
	e ₄ - consumo de energia elétrica (peças / 10 kwh)	60,98			
Econ.	f ₁ - tempo de ciclo (peças / hora)	48,78	50,86	65,41	
	f ₂ - custo da mão-de-obra (peças / R\$ 10,00)	14,38			
Social	s ₁ - nível de iluminação (lux real/lux padrão)x10	10,25	41,14	112,62	
	s ₂ - horas perdidas devido acidentes (peças/(hora x 10 ³))	10,59			
	s ₃ - horas de treinamento (horas/(peça x 10 ⁻⁶))	35,79			
	s ₄ - nível de ruído ((dB padrão / dB real) x10)	13,93			

Fonte: Empresa pesquisada.

Figura 13 – Área do triângulo antes do Seis Sigma



Fonte: Elaborado pelo autor.

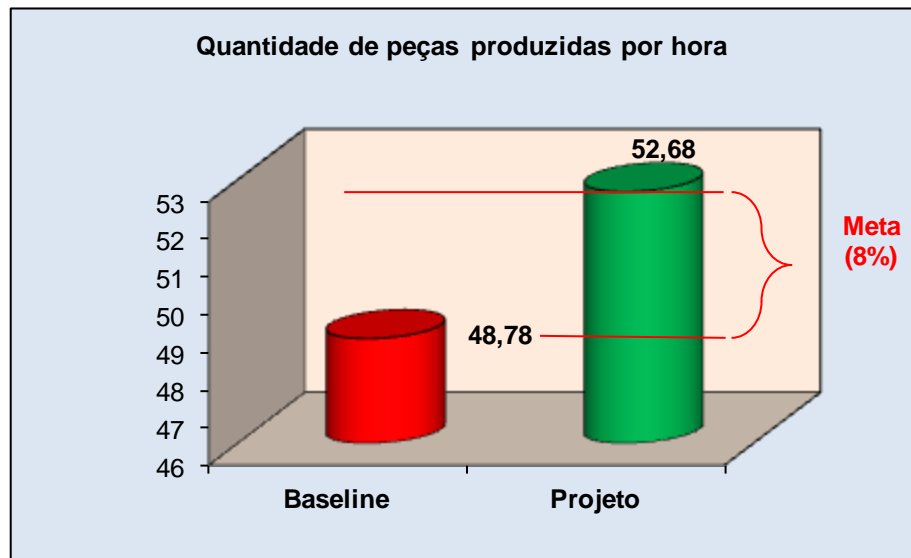
5.2. PROJETO SEIS SIGMA TRADICIONAL

Para o processo de usinagem selecionado para desenvolver a pesquisa-ação que suporte este trabalho, foi aplicado um projeto Seis Sigma convencional, ou seja, sem considerar as variáveis ambientais e sociais. Este projeto foi conduzido pelo autor desta tese como o líder da equipe (*Black Belt*). Ainda, por se tratar de uma pesquisa-ação ele está inserido num ambiente favorável para a pesquisa. O líder desse projeto seguiu as fases do DMAIC, conforme detalhado a seguir:

5.2.1. Fase Definir

Nessa etapa do projeto, o líder do projeto reuniu-se com o *Sponsor* do projeto que definiu como escopo o processo de usinagem 1, especificamente o anel de encosto B312, o título do projeto como sendo a redução do tempo de ciclo, com o objetivo de tornar o processo rentável. Após a definição do título e escopo foram levantados os tempos de produção dos últimos seis meses do item em estudo e em conjunto com o *Sponsor* definido a meta para o projeto, neste caso, uma meta de 8% de redução no tempo de ciclo, que eleva a quantidade de peças produzidas por hora de 48,78 para 52,68, esses dados podem ser observados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Baseline e meta do projeto



Fonte: elaborado pelo autor

Após a definição da meta do projeto, o líder do projeto, definiu a equipe para o projeto em questão. Participaram da equipe o responsável da área, sendo o “*process owner*”, dois “*Green Belts*”, um da área de desenvolvimento de processos e outro da área de usinagem, ainda na equipe, foram dois “*Yellow Belts*”, ambos preparadores de máquinas e por fim, três “*Team members*” com a função de operadores de máquina.

Com a definição do título do projeto, objetivo e meta estabelecida, o líder do projeto definiu em conjunto com o *Sponsor* o caso do negócio e o cronograma para finalização do projeto, seguindo as fases do DMAIC. Em seguida, foi elaborado o

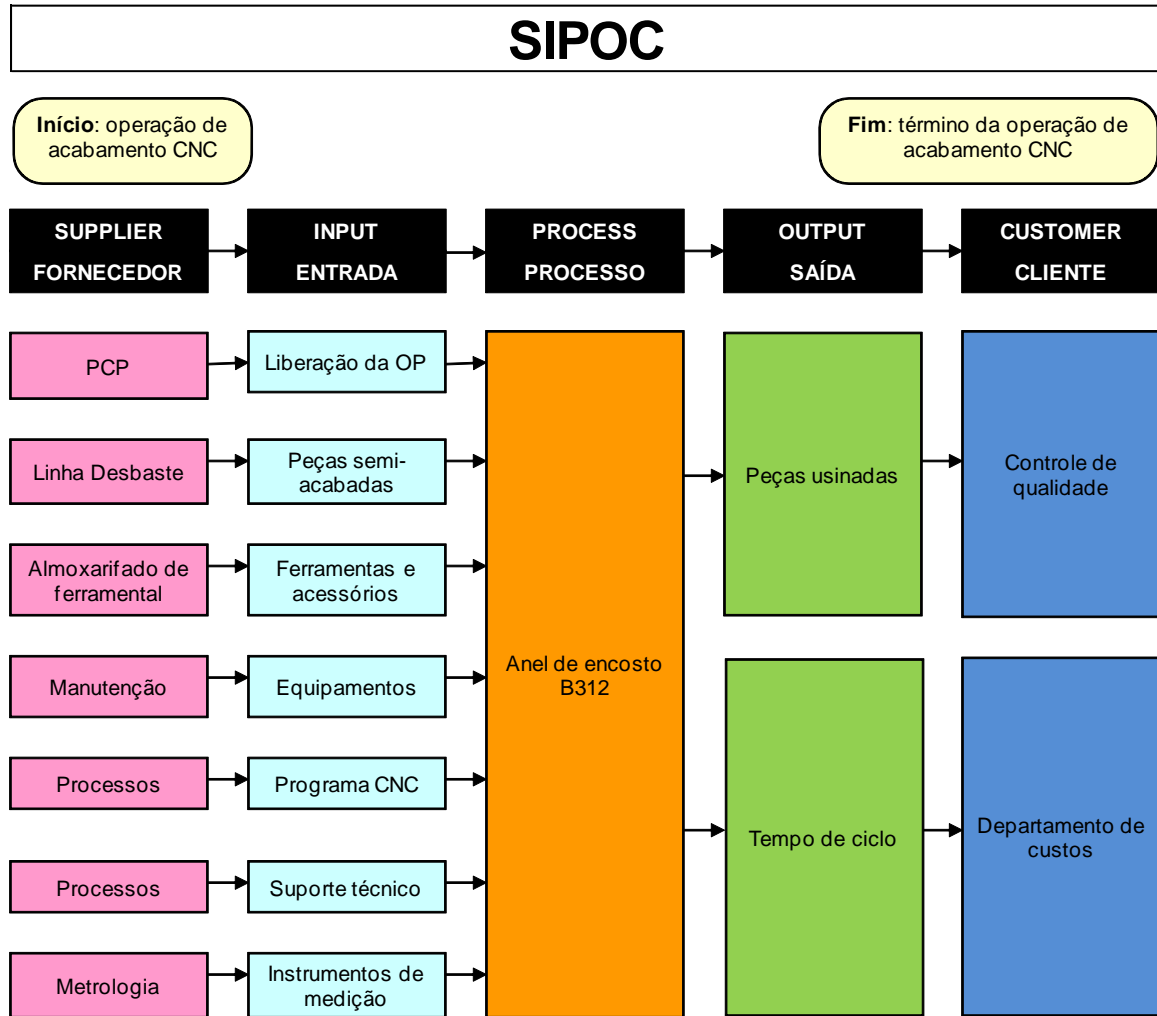
Project Charter do projeto e realizada a primeira reunião com a equipe para apresentação inicial do projeto, nesta etapa o *Black Belt* finalizou o *Project Charter* do projeto em conjunto com a equipe, definindo as variáveis que interferem na meta e a lista de oportunidades. O *Project Charter* do projeto Seis Sigma convencional pode ser visto no Quadro 13.

Quadro 13 - *Project Charter* do projeto Seis Sigma tradicional

<i>Título do projeto</i>	Redução do tempo de ciclo.
<i>Caso do Negócio</i>	Com a expansão global dos mercados, e os clientes mais exigentes, têm se tornado indispensável à melhora dos processos de fabricação em relação à qualidade, prazo de entrega e preço do produto. Diante deste cenário, foi identificada a necessidade de ações de melhorias no processo de usinagem, com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo.
<i>Resumo da Meta</i>	Y= reduzir o tempo de ciclo em 8% até jan/18. x1= Programação de produção; x2= Programa CNC; x3= Ferramental.
<i>Cronograma do Projeto</i>	- Definir: 25/09/17 – 11/10/17 - Medir: 12/10/17 – 07/11/17 - Analisar: 08/11/17 – 14/12/17 - Melhorar: 15/12/17 – 19/01/18 - Controlar: 20/01/18 – 31/01/18
<i>Lista de Oportunidades</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do atraso; • Aumento da capacidade produtiva; • Competitividade;
<i>Escopo</i>	Áreas envolvidas: Usinagem 1, anel de encosto B312 Fora do escopo: Demais áreas e itens
<i>Equipe</i>	Sponsor: João Black Belt: José Carlos Process Owner: Eduardo Green Belts: Marcos e Paulo Yellow Belts: Caio e Cleber Team Members: Fabio, Maria e Anderson.

A equipe reunida desenvolveu o *SIPOC* do processo estudado, de acordo com o Quadro 14. O desenho do *SIPOC* teve como início a operação de acabamento CNC e como fim o término da operação de acabamento CNC. Os fornecedores para este processo são: PCP, Linha de desbaste, almoxarifado de ferramental, setor de manutenção, setor de desenvolvimento de processos e o laboratório de metrologia. As entradas foram: a liberação das ordens de produção pelo PCP, peças semiacabadas pelo setor de desbaste, ferramentas e acessórios fornecidos pelo almoxarifado de ferramental, equipamentos devidamente funcionando pelo setor de manutenção, programa CNC e suporte técnico pelo setor de desenvolvimento de processos, e por fim, instrumentos de medição devidamente calibrados. O processo estudado restringiu-se apenas ao anel de encosto de código B312. As saídas do processo consideradas foram peças usinadas e tempo de ciclo. Foi considerado como clientes desse processo o controle de qualidade por receber as peças acabadas e o setor de custos que recebe os dados de tempo de ciclo para cálculo da rentabilidade.

Quadro 14 - SIPOC do projeto Seis Sigma tradicional



Fonte: elaborado pelo autor

Com o objetivo de definir os riscos e oportunidades do projeto Seis Sigma ser implementado ou não, foi elaborado pela equipe do projeto a matriz de oportunidade e risco, detalhada no Quadro 15. A matriz de oportunidade e risco tem por objetivo demonstrar os riscos á curto prazo de não implementar o projeto Seis Sigma e as oportunidades a curto prazo com a implementação do projeto Seis Sigma, assim como, são definidos os riscos a longo prazo, caso não seja implementado o projeto Seis Sigma e as oportunidades alcançadas caso o projeto seja concluído.

Quadro 15 – Matriz de oportunidade e risco do projeto Seis Sigma tradicional

MATRIZ DE OPORTUNIDADE x RISCO		
	Riscos (se não fizermos o projeto)	Oportunidade (se fizermos o projeto)
Curto prazo	<ul style="list-style-type: none"> -Queda na Participação do Mercado / Inviabilidade do Negócio; -Prejuízo; -Baixa Competitividade; -Insatisfação do cliente; -Utilização inadequada dos recursos disponíveis; -Maior lead time de fabricação; -Perda de faturamento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Reduzir custo de fabricação; -Padronização do planejamento e dos processos; -Melhoria da eficiência e eficácia nos processos; -Aumento da capacidade produtiva no equipamento; -Aumento da produtividade; -Melhor utilização dos recursos disponíveis.
Longo prazo	<ul style="list-style-type: none"> -Perda do cliente; -Inviabilidade do negócio; -Redução do quadro de funcionários; -Gastos elevados; -Perda de competitividade; -Baixa eficiência do equipamento; -Gargalo no equipamento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Conquistar novos clientes / produtos; -Viabilidade do negócio; -Ser mais competitivo; -Evitar investimento desnecessário.

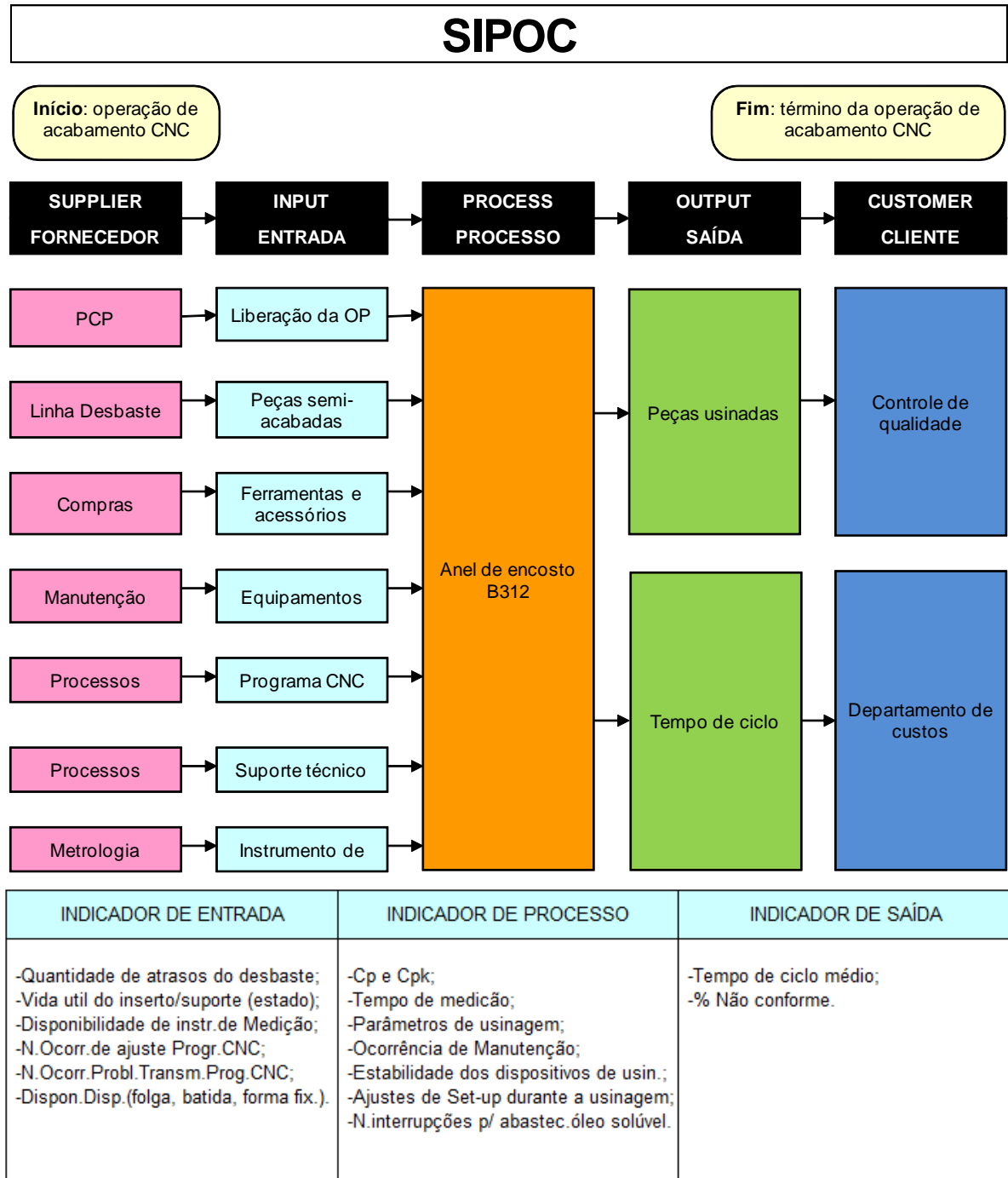
Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.2. Fase Medir

Na fase medir a equipe utilizou o *SIPOC*, que foi desenvolvido na fase anterior para identificar os indicadores de medição. Foram definidos os indicadores de medição para a entrada, o processo e a saída, detalhado no Quadro 16. Os principais indicadores identificados para a entrada foram: quantidade de atrasos das peças do desbaste, vida útil dos insertos e suporte de ferramenta, disponibilidade dos instrumentos de medição, número de ocorrências de ajustes no programa CNC, número de ocorrência de problema na transmissão do programa CNC e disponibilidade dos dispositivos de fixação. Para os indicadores de processos, foram selecionados os seguintes: CP e CPK do processo, tempo gasto na medição da peça, parâmetros de usinagem, ocorrência de manutenção no equipamento, estabilidade nos dispositivos de usinagem, ajustes de *setup* durante o processo e

número de interrupções para abastecimento de óleo solúvel. Por fim, foram definidos os indicadores de medição para a saída: tempo de ciclo médio e percentual de produtos não conforme.

Quadro 16 – SIPOC x Indicadores para o projeto Seis Sigma tradicional



Fonte: Elaborado pelo autor

Depois de identificado os indicadores de medição para a entrada, o processo e a saída, a equipe do projeto Seis Sigma definiu o plano de medição para cada indicador, tal plano, pode ser visualizado com mais detalhes nos Quadro 17, 18 e 19.

Quadro 17 – Plano de medição para os indicadores de entrada (projeto Seis Sigma tradicional)

PLANO DE MEDIÇÃO - INDICADORES DE ENTRADA							
Medição de Performance	Definição Operacional	Fontes de Dados	Qt. da Amostra	Resp.pela Medição	Qdo.será Coletado	Como será Coletado	Outros Dados que Podem ser Coletados
Vida útil do inserto e suporte (estado)	Vida útil= numeros de peças usinadas desde a colocação do inserto até a substituição do mesmo.	Usinagem 1	Média de 3 insertos	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro + Planilha na máquina	Registrar data, código do inserto / suporte, fabricante, condição de uso do inserto e suporte
Número de peças semi-acabadas entregue em atraso	considerar a data de entrega da OP do semi-acabado	Na chegada do lote pré-usinado da operação anterior em questão.	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Marcar a data e hora que chegou e o tempo que a máquina ficou parada
Disponibilidade do instrumento de Medição	Verificar se o instrumento está ou não disponível qdo ocorrer a necessidade do uso.	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Marcar se operador busca o instrumento enquanto a máquina esta operando ou se quando a máquina está parada, e quantidade de ocorrência ou se está disponível.
Número de ocorrência de ajuste de programa CNC	Verificar se após o setup ocorre ajustes de programa	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tipo de ajuste, motivo do ajuste e tempo para efetuar o ajuste e a frequência.
Número de ocorrência de problemas com a transmissão de ajuste de programa CNC	Parada da máquina devido espera pela transmissão do programa, dificuldade na transmissão ou erro.	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto p/ passar o programa cnc, o tipo de erro, quem efetuou a transm.operador ou programador, etc.
Disponibilidade do dispositivo (folga, Batida, facilidade de fixação/uso)	se o dispositivo esta disponível e em condições de uso	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto procurar dispositivo ou substituir

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 18 – Plano de medição para os indicadores de processo (projeto Seis Sigma tradicional)

PLANO DE MEDIÇÃO - INDICADORES DE PROCESSO							
Medição de Performance	Definição Operacional	Fontes de Dados	Qt. da Amostra	Resp.pela Medição	Qdo.será Coletado	Como será Coletado	Outros Dados que Podem ser Coletados
Parâmetros de usinagem	Marca em qual nível está o potenciometro do equipamento, quantos RPM e velocidade de corte	Usinagem 1	3	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Verificar se esta sendo seguido o plano de usinagem
Número de ocorrência de manutenção / alarmes	Alarmes que provoquem a parada do equipamento, diminua a produtividade, ou reincidência de manutenção.	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro + Planilha na máquina	Registrar data tipo da ocorrência, tempo de parada, e disposição da pendência.
CP / CPK	Preencher a carta CEP	Usinagem 1	1 carta em 3 turnos	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	entre 16/10/17 e 06/11/17	Planilha de capacidade	Registrar o numero da máquina, nome do operador, data.
Ajustes de setup durante a usinagem	Tempo gasto p/ ajustar o setup no momento em que estiver sendo efetuado produção	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto p/ ajustar o processo, o motivo do ajuste, quem efetuou o ajuste preparador ou programador, etc.
Número de interrupções para abastecimento de óleo solúvel	parada da máquina para abastecer o óleo	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto para abastecer a máquina
Estabilidade do dispositivo de usinagem	se o dispositivo causa variação no processo (folga, dadinifica a peça, etc)	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto para substituir
Tempo de medição	Tempo gasto p/ medir a peça + procura de instrumento + zeramento do instrumento + Tempo aguardando auxiliar p/ medir a peça, corretor.	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar tempo inicial e final da medição, tempo de localização do instrumento.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 19 – Plano de medição para os indicadores de saída (projeto Seis Sigma tradicional)

PLANO DE MEDIÇÃO - INDICADORES DE SAÍDA							
Medição de Performance	Definição Operacional	Fontes de Dados	Qt. da Amostra	Resp.pela Medição	Qdo.será Coletado	Como será Coletado	Outros Dados que Podem ser Coletados
Tempo de ciclo	Marcar o tempo de fabricação do anel de encosto (início e fim de cada anel), contar quantas peças são realizadas em uma hora	Usinagem 1	3	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	registrar se houve parada durante o processo (tempo de parada)
Percentual de peças não conforme	registrar a quantidades de peças não conforme (retrabalho e sucata)	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro + Planilha na máquina	registrar o tipo de não conformidade

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a elaboração do plano de medição, foi necessário avaliar se o sistema de medição estava adequado para a coleta de dados. A equipe definiu questões chave e critérios para avaliar o sistema de medição nas categorias de definição operacional, geração da informação e amostra. Os critérios foram definidos conforme a somatória das pontuações de cada questão chave, tais questões, foram pontuadas desta forma: 2 pontos para o atendimento, 1 ponto quando atender parcialmente e 0 quando não atender. Para ser considerado um sistema de medição adequado, foi determinado que a somatória das respostas devesse ficar entre 11 e 14 pontos. Depois da análise dos 15 indicadores propostos nos planos de medição, concluiu-se que o sistema de medição estava adequado para a coleta dos dados. No Quadro 20 é possível exemplificar a avaliação do sistema de medição para coleta de dados dos parâmetros de usinagem, onde obteve uma nota de 13 pontos.

Quadro 20 – Avaliação do sistema de medição (parâmetros de usinagem)

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO			
INDICADOR: Parâmetros de usinagem			
Categoria	Nº	Questão chave	Nota
Definição Operacional	1	Há definição operacional da medição?	2
	2	Mede a propriedade desejada?	2
	3	É conhecida e praticada por todos os envolvidos?	2
Geração da informação	4	A exatidão é adequada?	2
	5	Há concordância entre os colaboradores dos turnos?	2
Amostra	6	As amostras são suficiente para gerar os dados necessários?	2
	7	Os dados podem ser confrontados com alguma base de dados?	1
Nota geral de adequação do Sistema de Medição			13
Nota: 2 sim, 1 parcial e 0 Não. Critério de adequação do sistema de medição: 11 - 14 Alta / 6 - 10 Média / 0 - 5 Baixa			

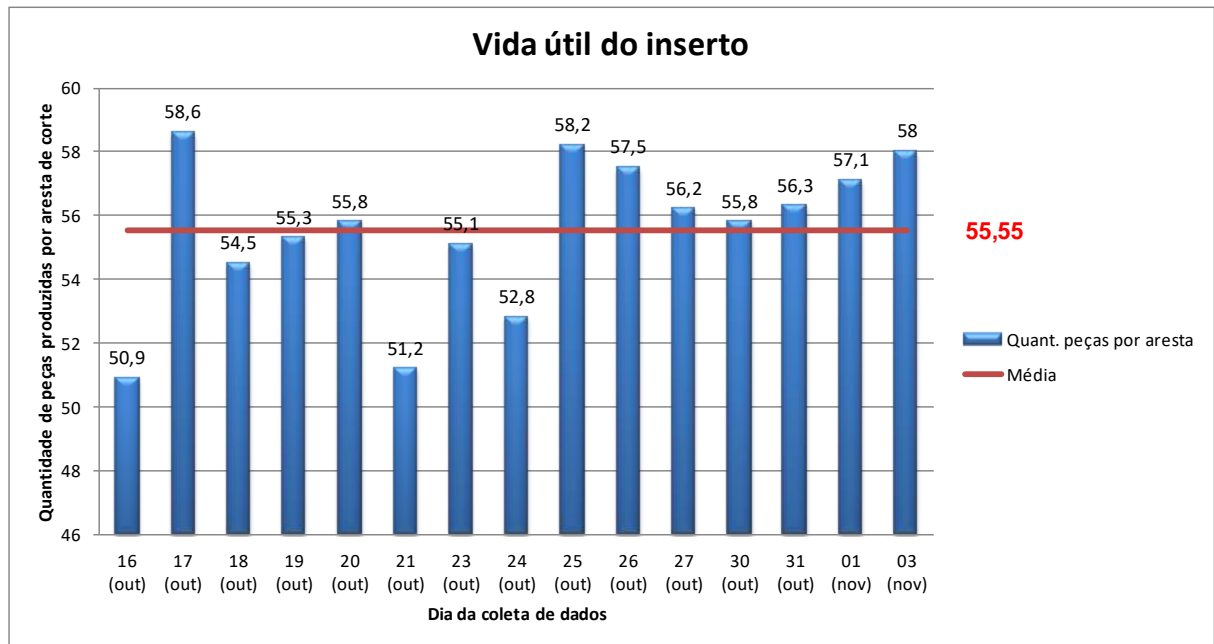
Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.3. Fase Analisar

Nesta fase do projeto Seis Sigma o *Black Belt* estratificou os dados coletados na fase medir, com base nos indicadores de entrada, processo e saída, e reuniu a equipe para fazer a análise dos dados.

Inicialmente foi estratificada a quantidade de peças produzidas por aresta do inserto de usinagem, no período de 15 dias em três turnos, conforme definido no plano de medição. Analisado os dados foi possível identificar uma variação de 50,9 a 58,6 peças produzidas por cada aresta do inserto de usinagem, gerando uma média de 55,55 peças produzidas por aresta, Gráfico 2. A equipe não identificou nenhum ganho rápido ou oportunidade de melhoria significativa, já que a amplitude máxima foi de 7,7 peças por aresta do inserto.

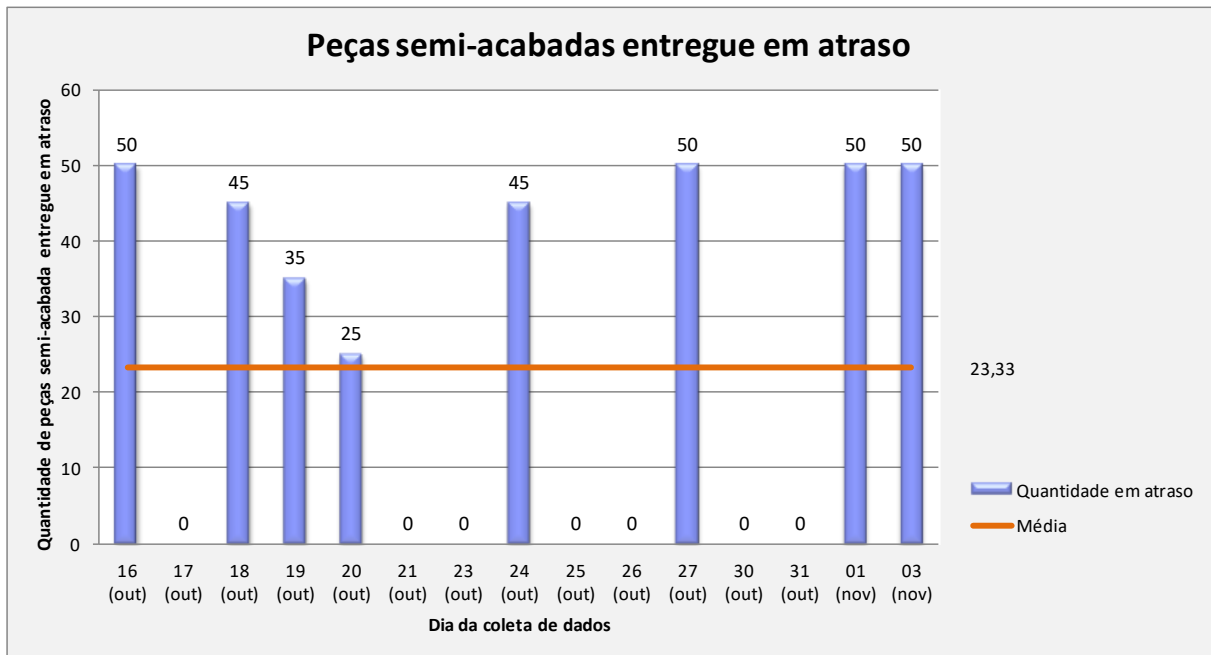
Gráfico 2 – Vida útil do inserto de usinagem



Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação aos dados referentes à quantidade de peças semi-acabadas entregues em atrasos, decorrente da operação anterior, foi estratificado os dados e em média há um atraso de 23,33 peças por dia, com uma amplitude máxima de 50 peças por dia, Gráfico 3. Foi anotado pelos operadores que em alguns momentos faltaram peças para produzir, fazendo com que os operadores buscassem as peças na etapa anterior.

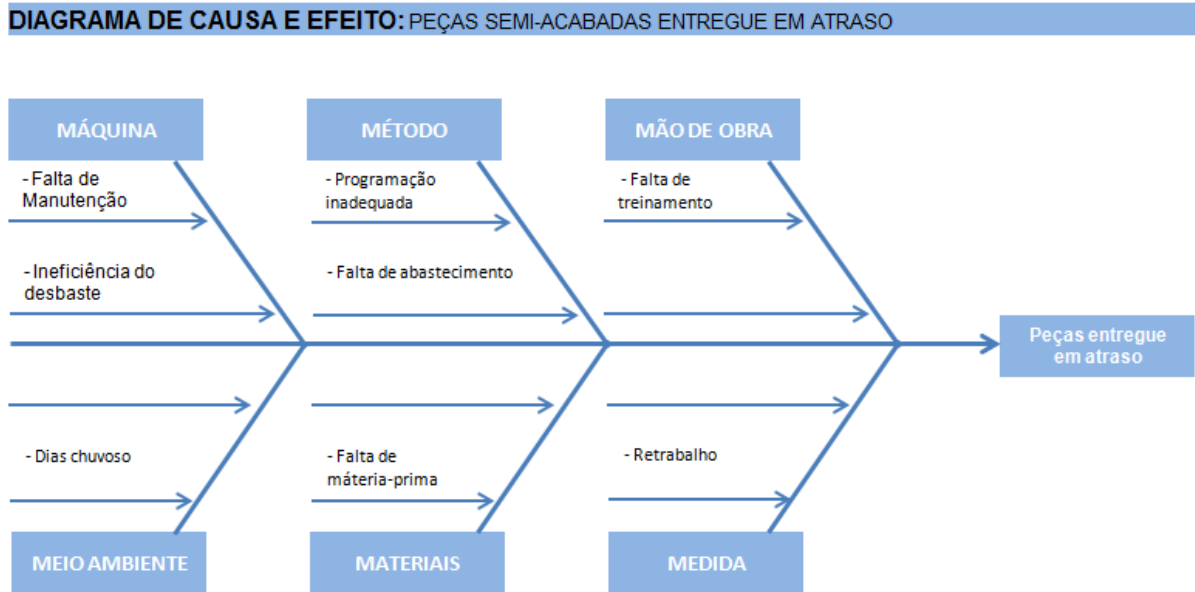
Gráfico 3 – Peças semi-acabadas entregue em atraso



Fonte: Elaborado pelo autor

Com a contribuição da ferramenta diagrama de Ishikawa foi possível identificar as possíveis causas para o atraso de peças semiacabadas na etapa de acabamento, neste caso, foram identificadas 7 prováveis causas que incide no problema, tais como: falta de manutenção, ineficiência do desgaste, programação inadequada, falta de treinamento, dias chuvosos, falta de matéria-prima e retrabalho, Figura 14. Depois de identificadas as possíveis causas, a equipe usou a matriz de causa e efeito para identificar a principal causa do problema, que de acordo com o Quadro 21, a principal causa era a programação inadequada.

Figura 14 – Diagrama de causa e efeito: Peças semi-acabadas entregue em atraso



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 21 – Matriz de causa e efeito: peças semiacabadas entregues em atraso

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	Saída(s) do processo (Y):	PROBLEMA PRIORITÁRIO							TOTAL
	Nome do(s) participante(s) da votação:	PEÇAS SEMI-ACABADAS ENTREGUE EM ATRASO							
	Possíveis Xs do processo (causas)	Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	
1	Falta de Manutenção	1	3	3	1	1	1	1	11
2	Ineficiência do desgaste	3	3	1	1	1	3	1	13
3	Programação inadequada	5	3	5	5	5	3	3	29
4	Falta de treinamento	1	3	1	1	1	1	1	9
5	Dias chuvoso	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Falta de matéria-prima	1	1	1	3	1	1	1	9
7	Retrabalho	1	1	3	1	1	1	1	9

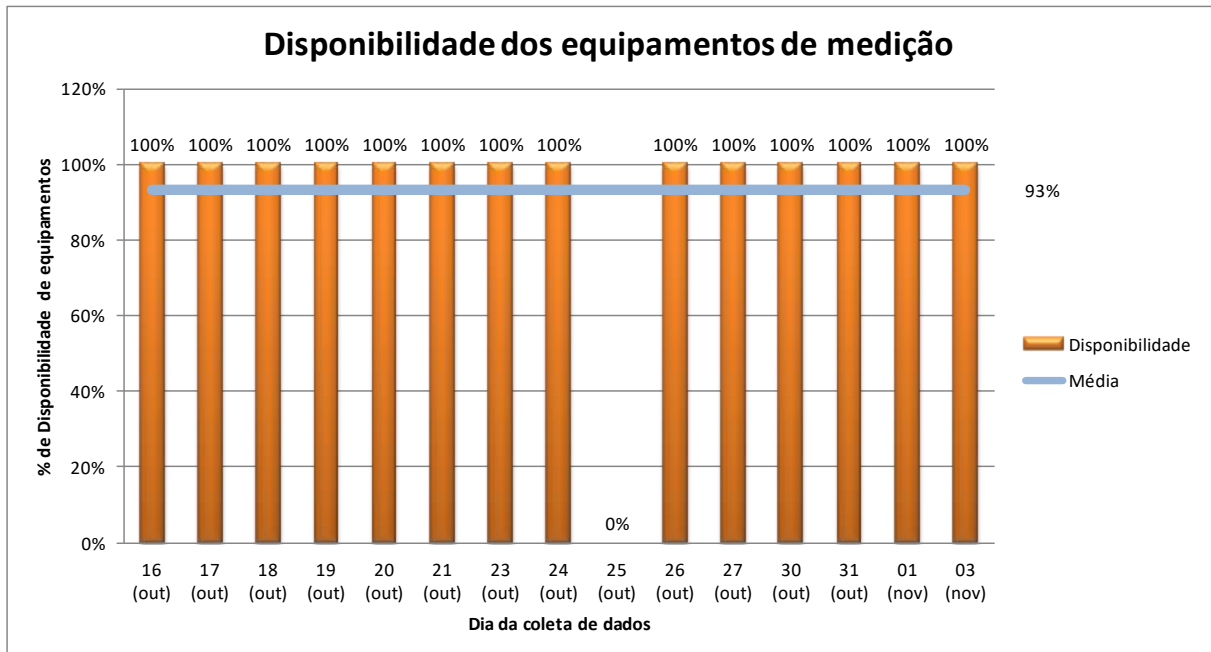
LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi efetuada a coleta dos dados da disponibilidade dos equipamentos de medição e apenas no dia 25/10/17 o equipamento não estava disponível na hora de realizar a medição das peças. Com base na estratificação a média da disponibilidade no período foi de 93%, contudo, em sua maioria o equipamento ficou disponível em

100%, Gráfico 4. Ao analisar os dados a equipe definiu uma ação de ganho rápido (*Quick win*), para este caso, o equipamento ficará dedicado e quando for necessário fazer ajustes ou calibração no equipamento, o mesmo será substituído antes de sua retirada do local.

Gráfico 4 – Disponibilidade dos equipamentos de medição



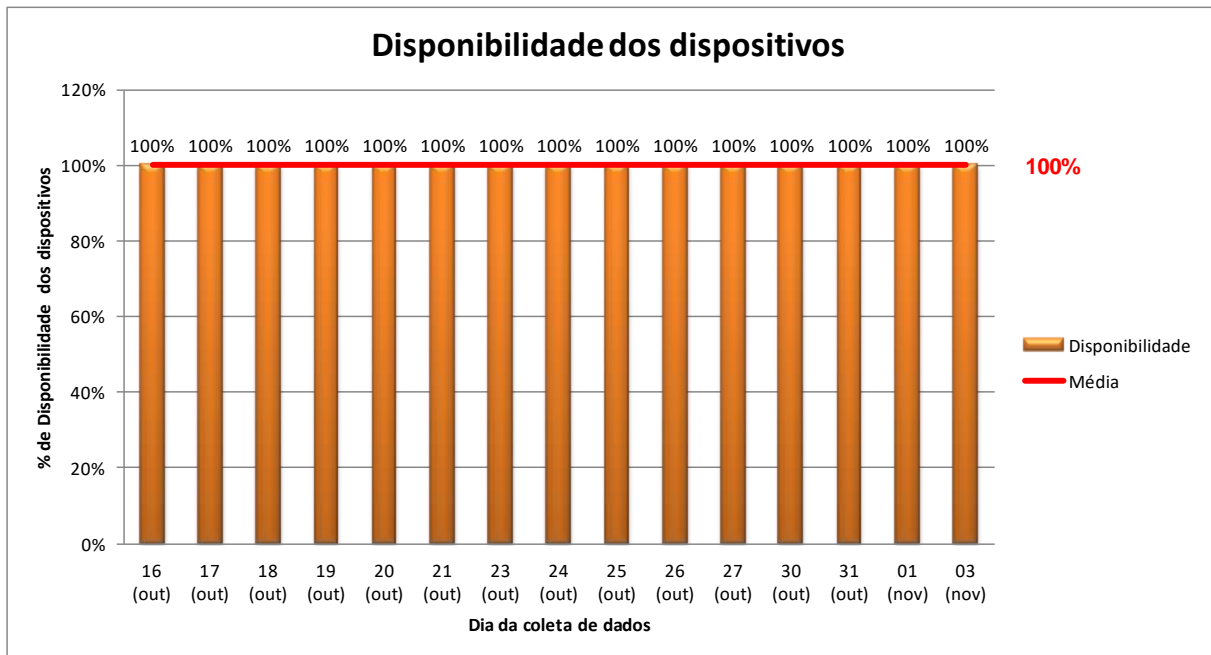
Fonte: Elaborado pelo autor

No período de 16/10/17 a 03/11/17 foram coletados os dados de ocorrências de ajustes de programas CNC após *setup*, com base nos dados coletados não houve nenhum ajuste necessário.

Com base nos dados coletados no período de 16/10/17 a 03/11/17 não houve nenhuma ocorrência de transmissão de programa CNC após ajustes.

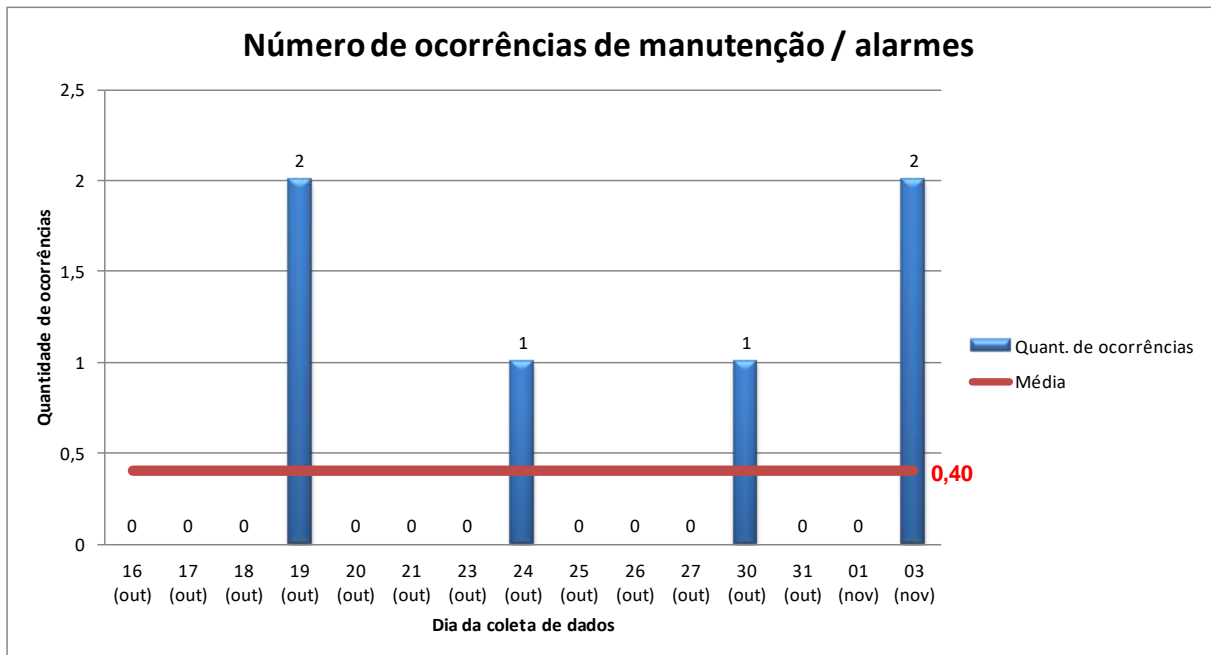
Na análise dos dados coletados referente à disponibilidade dos dispositivos no período de 16/10/17 a 03/11/17, percebeu-se que os dispositivos estavam disponíveis em 100% do tempo, Gráfico 5.

Gráfico 5 – Disponibilidade dos dispositivos



Depois da investigação dos dados referentes a números de ocorrências de manutenção e alarmes de máquina, percebeu-se que a média do período é de 0,4 ocorrências, contudo, aconteceu pelo menos uma ocorrência a cada 4 dias, Gráfico 6. Em média as ocorrências apontadas levaram por volta de 15 a 25 minutos para serem resolvidas.

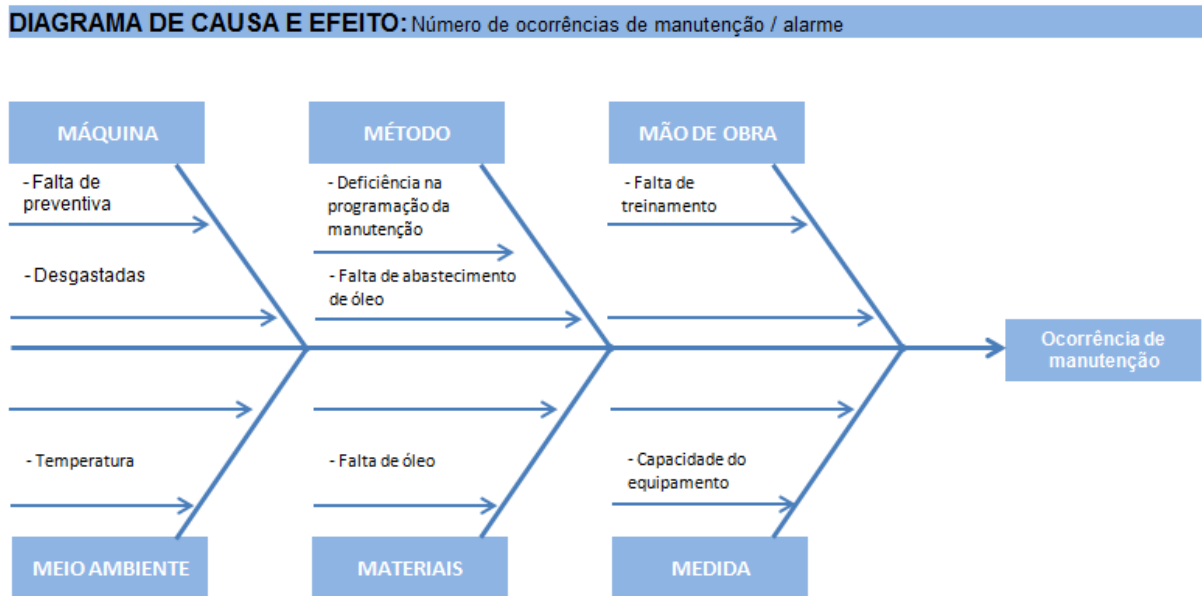
Gráfico 6 – Número de ocorrências de manutenção / alarmes



Fonte: Elaborado pelo autor

Com a elaboração do diagrama de causa e efeito a equipe identificou as possíveis causas para o efeito, ocorrências de manutenção e alarmes. Na Figura 15 é possível visualizar 8 possíveis causas, que foram analisadas pela equipe e definida a mais relevante dentre elas. No Quadro 22 foi destacado na cor vermelho as causas mais relevantes, neste caso, foram duas com a mesma pontuação, que de certa forma tratam do mesmo assunto, falta de abastecimento de óleo e falta de óleo.

Figura 15 – Diagrama de causa e efeito: Número de ocorrências de manutenção



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 22 – Matriz de causa e efeito: Número de ocorrências de manutenção / alarme

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO										
Nº	Saída(s) do processo (Y):		PROBLEMA PRIORITÁRIO						TOTAL	
	Nome do(s) participante(s) da votação:		NÚMERO DE OCORRÊNCIAS DE MANUTENÇÃO / ALARME							
	Possíveis Xs do processo (causas)		Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria		Anderson
		Pontuações atribuídas a cada Xs								
1	Falta de preventiva		3	3	1	1	3	1	1	13
2	Máquina desgastadas		1	1	1	1	1	3	1	9
3	Deficiência na programação da manutenção		3	3	1	1	1	3	3	15
4	Falta de abastecimento de óleo		5	5	3	3	3	5	5	29
5	Falta de treinamento		1	1	1	1	1	1	1	7
6	Temperatura		1	1	1	1	1	1	1	7
7	Falta de óleo		5	5	3	3	3	5	5	29
8	capacidade do equipamento		1	1	1	1	1	1	1	7

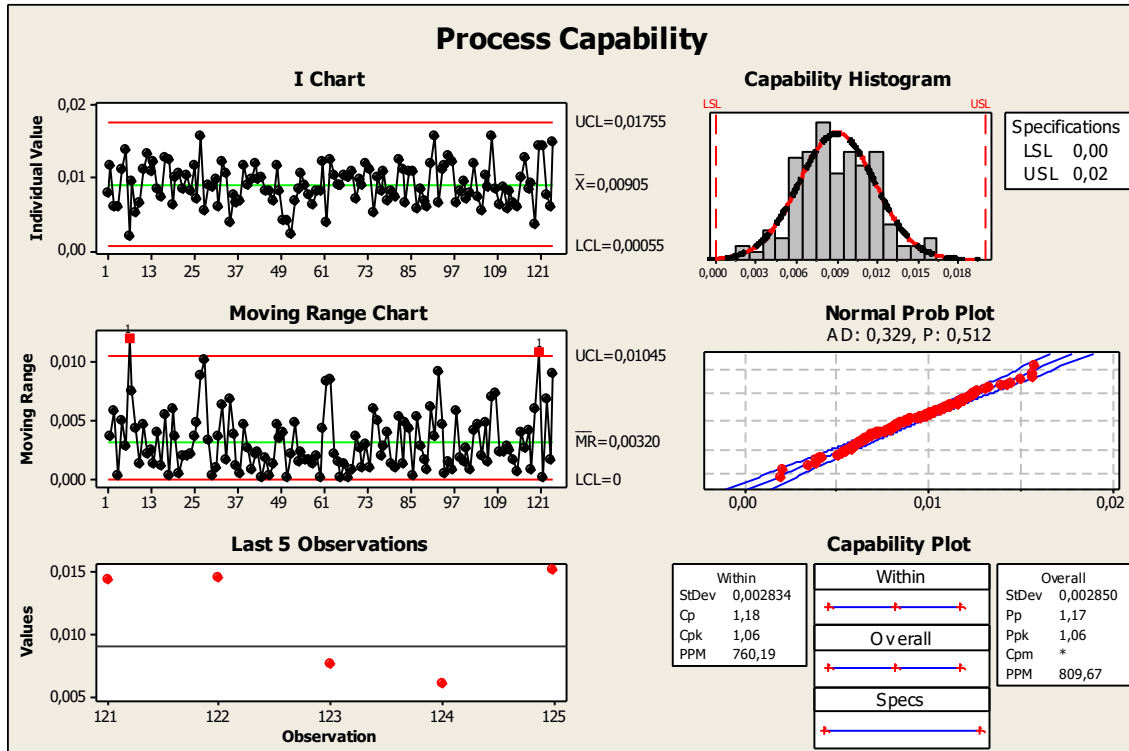
LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi realizada uma análise dos dados coletados para capacidade do processo (Cp e Cpk) e identificou-se que se trata de uma distribuição normal, porém o Cp e Cpk não atendem o mínimo desejado de 1,33. De acordo com a Figura 16, obtida

por meio do software Minitab® é possível visualizar o Cp de 1,18 e Cpk de 1,06, com esses valores a equipe definiu que o processo está instável.

Figura 16 – Capacidade do processo

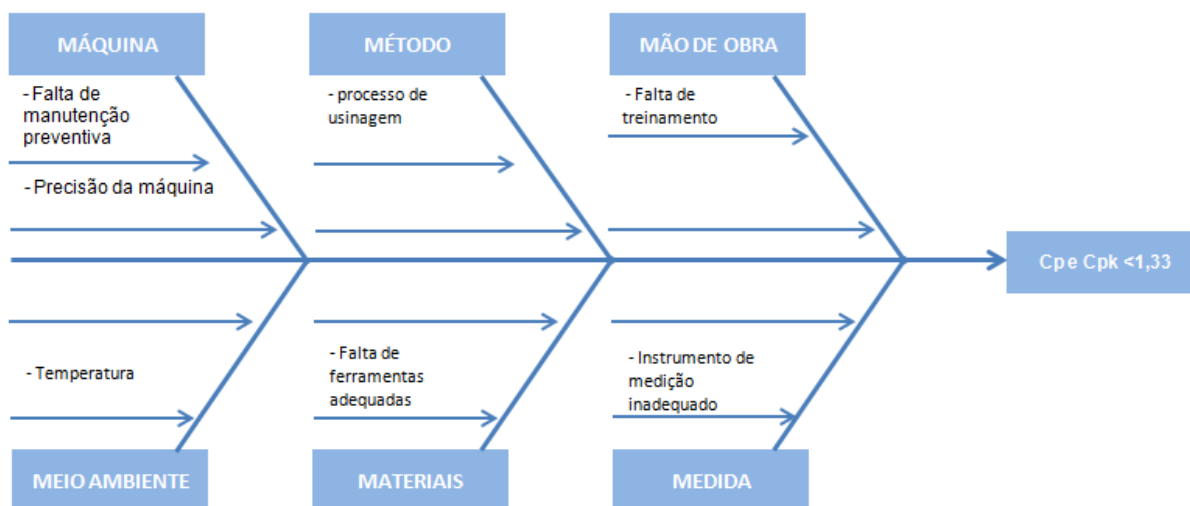


Fonte: Elaborado pelo autor

A equipe reunida identificou as possíveis causas que impactam diretamente na capacidade do processo, mediante a ferramenta diagrama de causa e efeito, Figura 17. Depois de identificadas as possíveis causas foi elaborada a matriz de causa e efeito para determinar a causa relevante que afeta a capacidade do processo. No Quadro 23 é possível visualizar a causa sendo a falta de ferramentas adequadas, como responsável por tornar o processo instável.

Figura 17 – Diagrama de causa e efeito: Capabilidade do processo

DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO: CAPABILIDADE DO PROCESSO



Fonte: Elaborado pelo autor

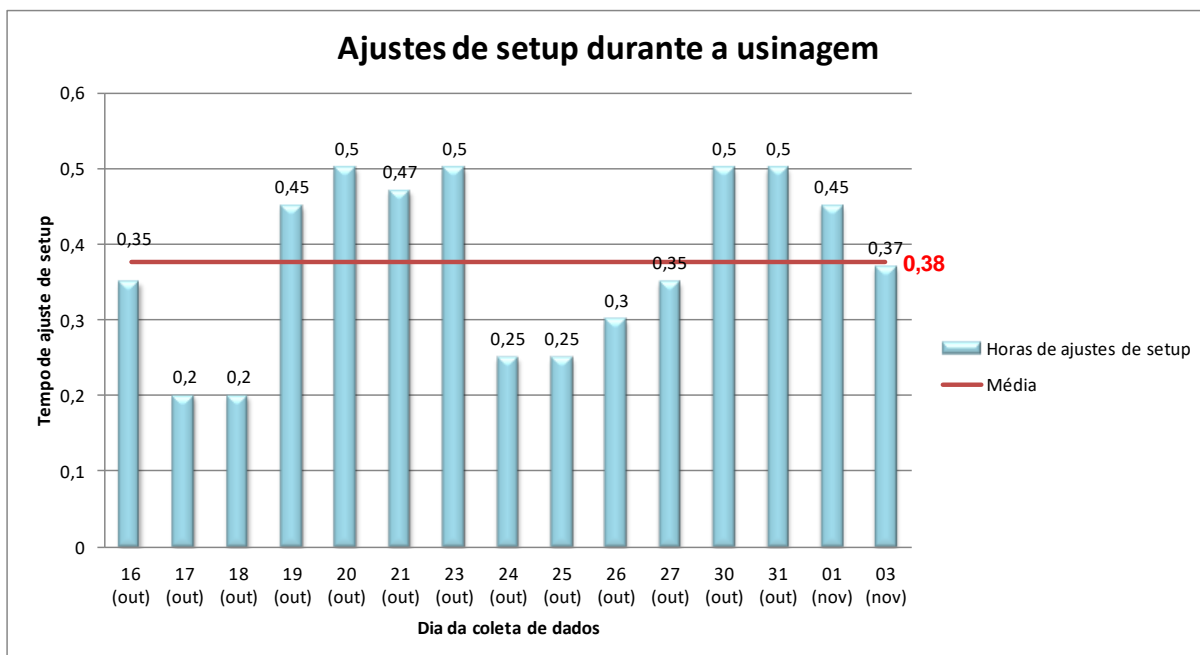
Quadro 23 – Matriz de causa e efeito: Capabilidade do processo

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	Saída(s) do processo (Y): Nome do(s) participante(s) da votação: Possíveis Xs do processo (causas)	PROBLEMA PRIORITÁRIO CAPABILIDADE DO PROCESSO							TOTAL
		Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	
		Pontuações atribuídas a cada Xs							
1	Falta de manutenção preventiva	1	3	1	1	3	1	1	11
2	Processo de usinagem	1	3	1	3	1	3	1	13
3	Temperatura	1	1	1	1	1	1	3	9
4	Precisão da máquina	5	1	3	1	3	1	3	17
5	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Falta de ferramentas adequadas	5	5	5	3	5	3	5	31
7	Instrumento de medição inadequado	1	1	1	1	1	1	3	9

LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a estratificação dos dados referente à quantidade de horas gastas com *setup* durante o processo de usinagem, foi possível identificar que são gastos em média 0,38 horas por dia com os ajustes, contudo, no período de análise de 15 dias, é possível visualizar no Gráfico 7 que em 2 dias não passaram de 0,2 horas, entre tanto, foram 4 dias com 0,5 horas. Baseado nessa análise, a equipe decidiu identificar as causas dessas variações para os ajustes de *setup*.

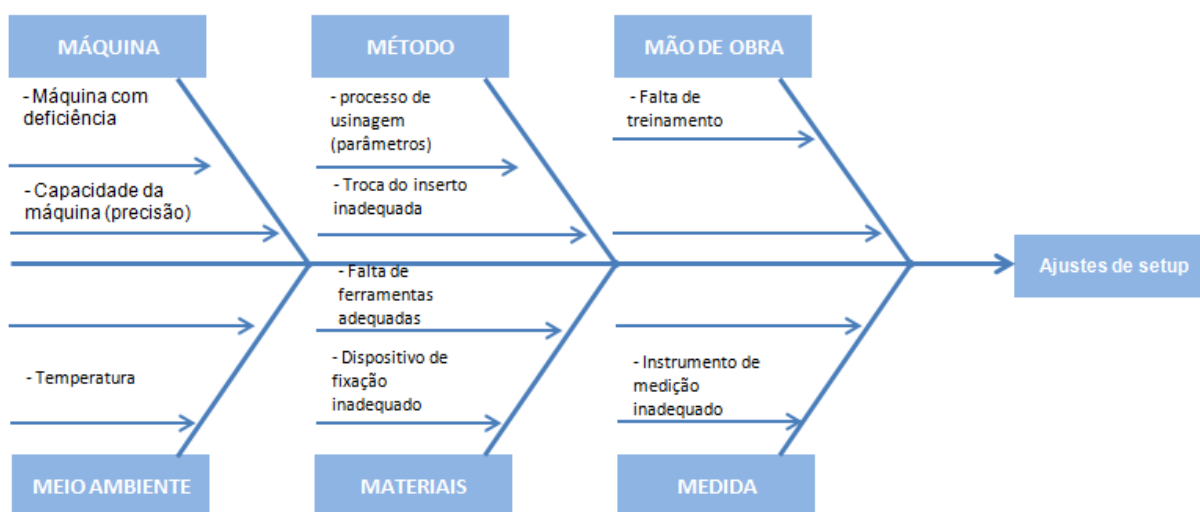
Gráfico 7 – Ajuste de *setup* durante a usinagem

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a equipe do projeto reunida e com o uso da ferramenta diagrama de Ishikawa foi permitido identificar as prováveis causas para a efetuação de ajustes de *setup* durante a usinagem das peças. Na Figura 18 é possível visualizar as 9 prováveis causas. Para a definição da causa raiz a equipe utilizou-se da matriz de causa e efeito, onde, a principal causa para os ajustes de *setup* durante a usinagem é a troca de inserto inadequada, tal causa, está destacada em vermelho com sua respectiva pontuação no Quadro 24.

Figura 18 – Diagrama de causa e efeito: Ajuste de *setup* durante a usinagem

DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO: AJUSTE DE SETUP DURANTE A USINAGEM



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 24 – Matriz de causa e efeito: Ajuste de *setup* durante a usinagem

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
		PROBLEMA PRIORITÁRIO							
Saída(s) do processo (Y):		AJUSTE DE SETUP DURANTE A USINAGEM							
Nº	Nome do(s) participante(s) da votação:	Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	TOTAL
	Possíveis Xs do processo (causas)	Pontuações atribuídas a cada Xs							
1	Máquina com deficiência	1	1	3	3	3	1	1	13
2	Capacidade da máquina (precisão)	1	1	1	1	1	3	1	9
3	processo de usinagem (parâmetros)	1	1	1	1	3	1	3	11
4	Troca do inserto inadequada	5	5	3	3	5	5	3	29
5	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Temperatura	1	1	1	1	1	1	1	7
7	Falta de ferramentas adequadas	1	1	1	1	3	1	3	11
8	Dispositivo de fixação inadequado	1	1	1	3	1	1	1	9
9	Instrumento de medição inadequado	1	1	1	1	1	1	1	7

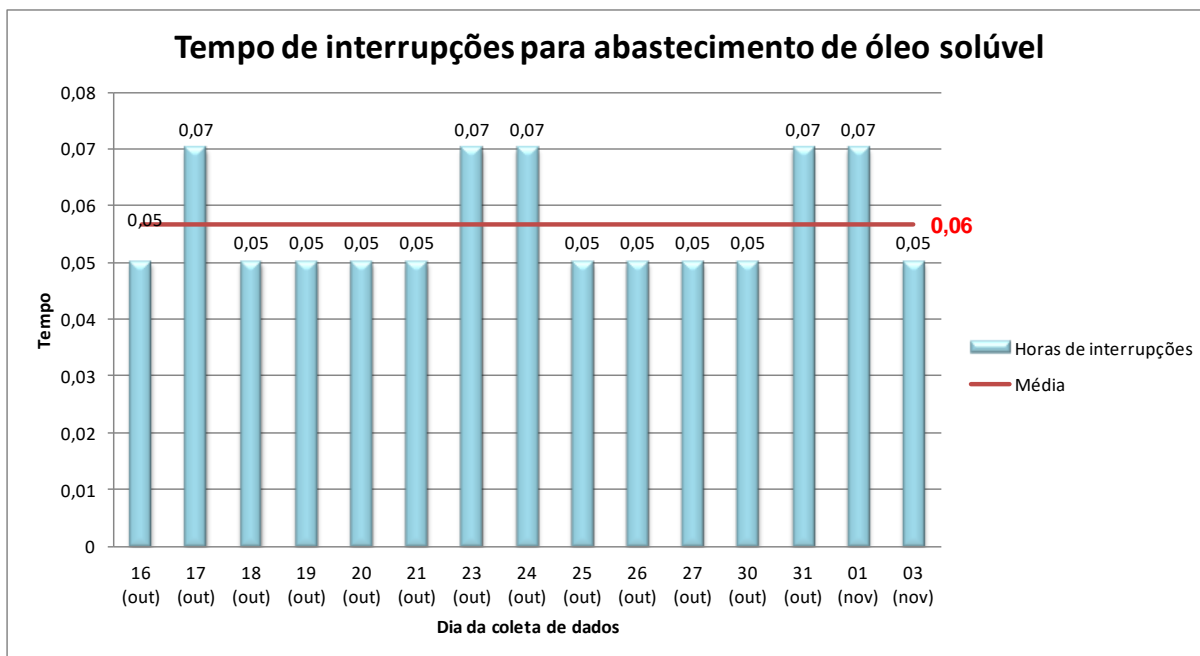
LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram coletados e estratificados os dados referentes ao tempo gasto com interrupções para abastecimento do óleo solúvel, Gráfico 8. Apoiado na estratificação a média de interrupções é de apenas 0,06 horas por dia, pelas anotações, o abastecimento ocorre apenas uma vez ao dia. A variação entre os

dados foram consideradas insignificante, desta forma, a equipe não identificou oportunidades de melhorias ou ganhos rápido significantes.

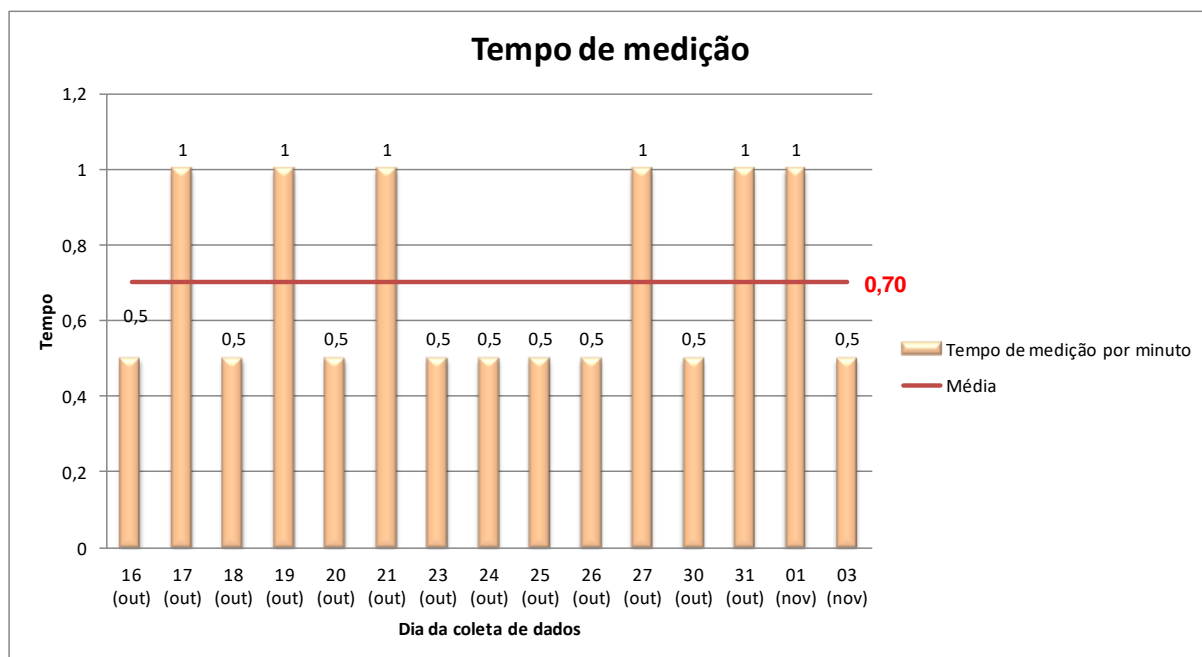
Gráfico 8 – Número de interrupções para abastecimento de óleo solúvel



Com relação à estabilidade do dispositivo de usinagem foram estratificados os dados e identificado que não há variações no processo decorrentes dos dispositivos.

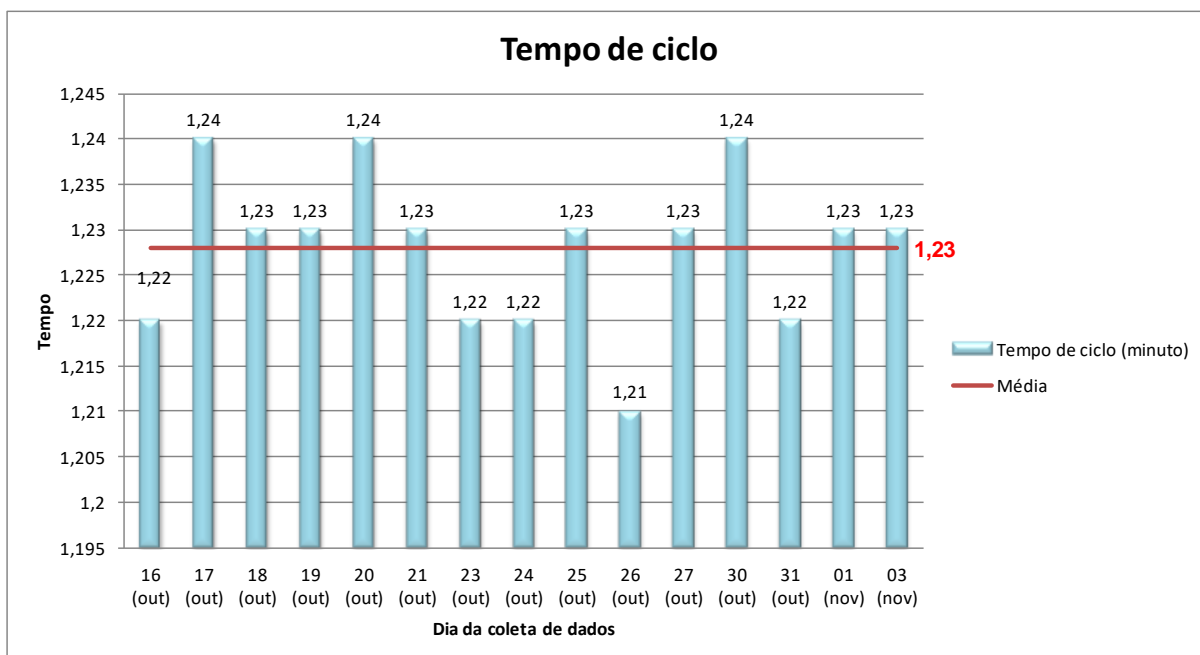
Foi realizada a estratificação dos dados referente ao tempo gasto com a medição, Gráfico 9. No período analisado o tempo de medição ficou na média de 0,7 minutos para cada peça medida tendo sua amplitude por volta de 0,5 minutos. Como a medição da peça é realizada apenas no intervalo onde a máquina está usinando outra peça, a equipe considerou este tempo insignificante para propor alguma oportunidade de melhoria significativa.

Gráfico 9 – Tempo de medição



O tempo de ciclo foi medido e estratificado de acordo com o Gráfico 10, contudo, não houve variação significativa no tempo de ciclo, a média ficou em 1,23 minutos, com amplitude de 0,03 minutos. A contagem de peças anotadas na coleta dos dados ficou na média de 48,7 peças por hora. Com base na análise dos dados a equipe definiu que a variação no tempo de ciclo é insignificante e não serão propostas ações de melhorias neste ponto.

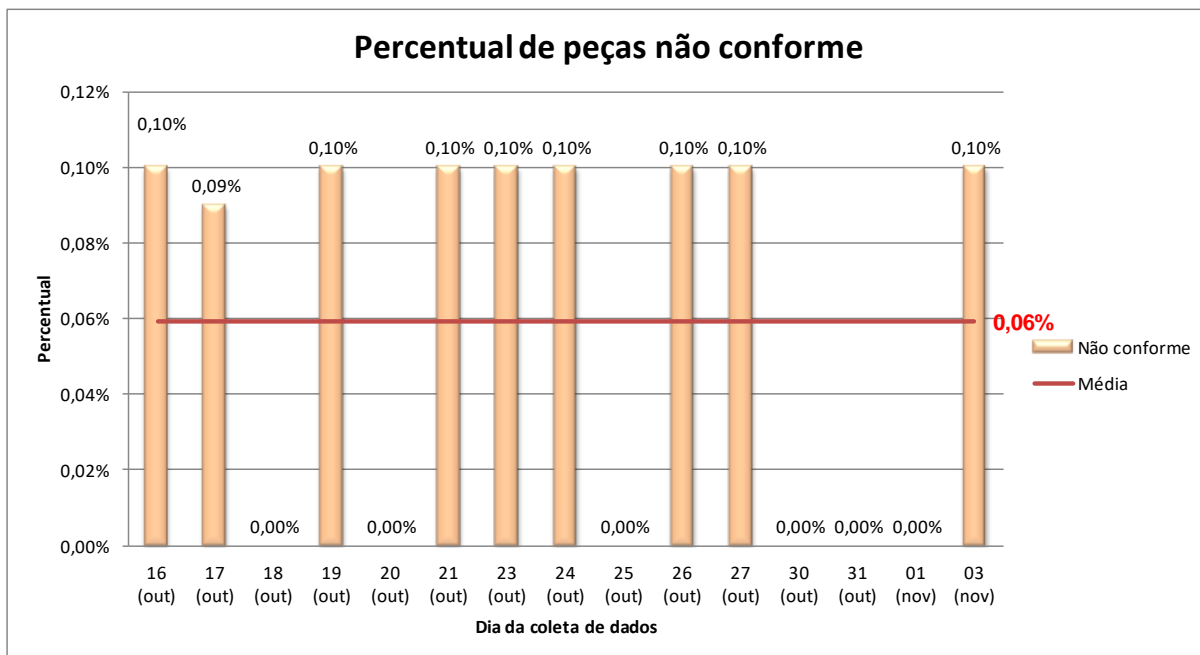
Gráfico 10 – Tempo de ciclo



Fonte: elaborado pelo autor

Após a coleta de dados e estratificação do percentual de peças não conforme, Gráfico 11. Foi encontrada uma média de 0,06% de peças não conforme por dia. No período de análise dos 15 dias, apenas 5 dias não houveram não conformidades, os demais dias tiveram 0,1% de peças não conforme. Durante a coleta dos dados foram anotadas as não conformidades, neste caso, todas decorrentes de planicidade fora do especificado.

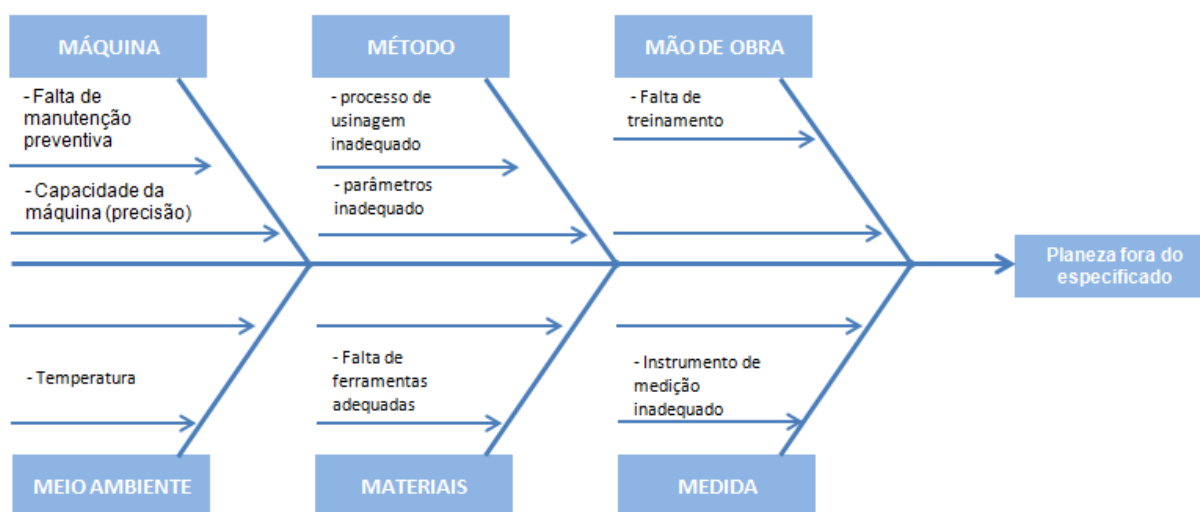
Gráfico 11 – Percentual de peças não conforme



As não conformidades em questão se dão pela característica de planicidade (*flatness*) fora do especificado. Com base nessa característica foi utilizado o diagrama de Ishikawa para identificar as prováveis causas. Foram identificadas 8 prováveis causas para a característica planicidade fora do especificado, essas prováveis causas podem ser visualizadas na Figura 19. Depois de identificadas as prováveis causas à equipe do projeto utilizou a matriz de causa e efeito, com objetivo de identificar a causa raiz, onde neste caso, foi identificada como sendo a falta de ferramentas adequadas, Quadro 25.

Figura 19 – Diagrama de causa e efeito: Percentual de não conforme

DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO: PERCENTUAL DE PEÇAS NÃO CONFORME



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 25 – Matriz de causa e efeito: Percentual de não conforme (planicidade fora do especificado)

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	Saída(s) do processo (Y): Nome do(s) participante(s) da votação: Possíveis Xs do processo (causas)	PROBLEMA PRIORITÁRIO PERCENTUAL DE NÃO CONFORME (PLANEZA FORA DO ESPECIFICADO)							TOTAL
		Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	
		Pontuações atribuídas a cada Xs							
1	Falta de manutenção preventiva	1	1	3	3	3	1	1	13
2	Capacidade da máquina (precisão)	1	1	1	1	1	3	1	9
3	Processo de usinagem inadequado	1	1	1	1	3	1	3	11
4	Parâmetros inadequado	3	3	3	1	3	3	3	19
5	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Temperatura	1	1	1	1	1	1	1	7
7	Falta de ferramentas adequadas	5	5	5	3	5	3	5	31
8	Instrumento de medição inadequado	1	1	1	1	1	1	1	7

LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram avaliados os parâmetros de usinagem, RPM e velocidade de corte proposto pela engenharia de processos e ambos estavam sendo seguidos pelos preparadores e operadores de máquinas. Desta forma, não foi identificado oportunidades de melhorias decorrentes dos parâmetros de usinagem.

5.2.4. Fase Melhorar

Na fase anterior, por meio das ferramentas do Seis Sigma, a equipe do projeto analisou os dados colhidos e identificou as possíveis causas que contribuem negativamente no processo de usinagem em estudo. Nesta fase a equipe propôs e implementou as ações de melhorias para as 5 causas raízes identificadas na etapa anterior. Para isso, a equipe desenvolveu o plano de melhoria baseado na ferramenta 5W2H.

Para o problema de peças semiacabadas entregue em atraso na operação de acabamento, foi identificado na fase anterior como causa raiz a programação inadequada. Com o objetivo de eliminar a causa raiz, a equipe do projeto propôs e implementou a ação de adequar a sistemática de programação da produção. Esta ação de melhoria pode ser visualizada em detalhes no Quadro 26.

Quadro 26 – Plano de ação para peças semiacabadas entregue em atraso

PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Peças semi-acabadas entregue em atraso						
Causa raiz:	Programação inadequada						
5W					2H		Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Adequar a sistemática de programação	A usinagem de desbaste não sabe o momento exato que deve-se enviar as peças para a etapa de acabamento.	PCP (no sistema de programação - Preactor)	Paulo e Wagner	até 18/12/17	Definindo o lote de envio por hora	1 hora da TI para configurar o sistema	concluído

Fonte: Elaborado pelo autor

Para a questão da capacidade do processo fora do especificado, foi identificado como causa principal à falta de ferramentas adequadas, assim como, para o percentual de não conforme, que tiveram a mesma causa em comum. Para isso foi proposto um plano de melhoria, detalhado no Quadro 27, com o objetivo de melhorar a capacidade do processo e reduzir o percentual de peças não conforme. Com as ações propostas e implementadas, além do propósito de resolver esses dois

problemas, uma das ações contribuiu para tornar a usinagem das peças mais rápida, pois foi possível aumentar os parâmetros de usinagem.

Quadro 27 – Plano de ação para capacidade do processo fora do especificado

PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Capabilidade do processo fora do especificado / Percentual de não conforme (planeza fora do especificado)						
Causa raiz:	Falta de ferramentas adequadas						
5W					2H		Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Identificar as ferramentas adequadas	As ferramentas estão afetando a planeza das peças.	Desenvolvimento de processo / produção	Pedro (desenvolvimento)	até 20/12/17	Com suporte do fornecedor	4 horas do desenvolvimento de processos	concluído
Definir os novos parâmetros de usinagem no programa CNC	Para garantir a planeza dentro do especificado e melhorar o tempo de produção	Desenvolvimento de processo / produção	Pedro e Tiago	até 22/12/17	Ferramentas de amostra em conjunto com o fornecedor	4 horas do desenvolvimento de processos	concluído
Realizar os testes	Para garantir a planeza dentro do especificado	Produção	Pedro e Tiago	até 22/12/17	Ferramentas de amostra	6 horas do desenvolvimento de processos	concluído
Realizar a aquisição da ferramenta correta	Para garantir o proximo setup	Compras	Suelen	até 26/12/17	Aprovação do Seis Sigma	R\$ 1.822,30	concluído
Padronizar as ferramentas nos kits de setup	Para os preparadores usarem a ferramenta correta	Almoxarifado de ferramental	Tiago (produção)	até 27/12/17	Gravação	2 horas do almoxarife	concluído

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi elaborado um plano de melhoria para o problema de parada de máquina por número de ocorrências de manutenção, ocasionado por falta de abastecimento de óleo e também pela falta do óleo para abastecer. De acordo com o Quadro 28, para as duas causas identificadas foram propostas duas ações de melhorias, que neste caso já se encontram implementadas.

Quadro 28 – Plano de ação para números de ocorrências de manutenção

PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Números de ocorrências de manutenção / Alarme						
Causa raiz:	Falta de abastecimento de óleo e falta de óleo						
5W					2H		Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Definir estoque mínimo de óleo	Para não faltar	Almoxarifado de manutenção	Everton	até 17/12/17	Cadastrando no SAP	R\$ 3.758,00	concluído
Criar sistemática de abastecimento do óleo nas máquinas	Para a máquina não parar por alarme (falta de óleo)	Planejamento da manutenção	Marcos	até 17/12/17	Definir na IT da manutenção	3 horas do planejamento de manutenção	concluído

Fonte: Elaborado pelo autor

A principal causa identificada na fase anterior para os ajustes de *setup* durante a produção foi à troca de inserto inadequada. Para esta causa a raiz a equipe definiu e implementou uma frequência adequada para a troca do inserto, este plano de ação pode ser melhor visualizado em detalhes no Quadro 29.

Quadro 29 – Plano de ação para ajuste de *setup* durante a produção

PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Ajuste de <i>setup</i> durante a produção						
Causa raiz:	Troca do inserto inadequada						
5W					2H		Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Definir a frequência adequada para troca do inserto	Para não trocar antes ou depois do tempo previsto	Desenvolvimento de processos	Pedro (desenvolvimento)	até 20/12/17	Registrando o ciclo no programa CNC	4 horas do desenvolvimento de processos	concluído

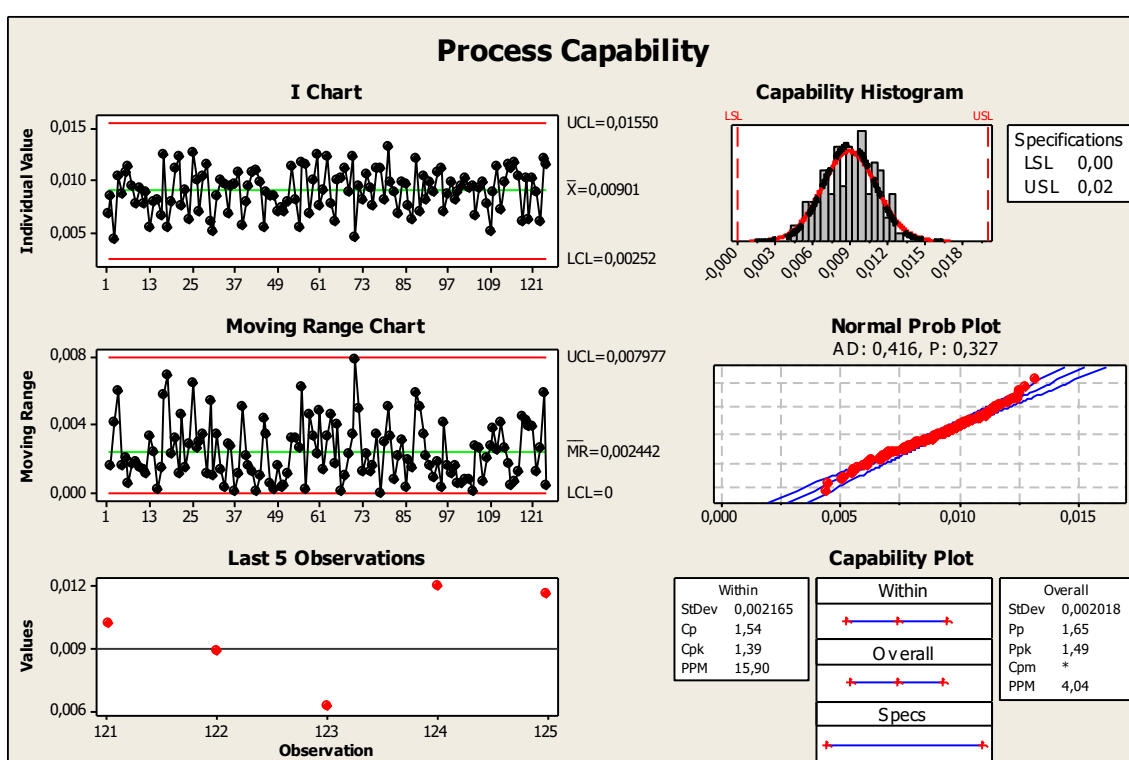
Fonte: Elaborado pelo autor

Após a implementação das ações definidas nos planos de melhorias, foi necessário coletar novos dados para analisar a eficácia da implementação das ações. Essa coleta de dados foi baseada no mesmo plano de medição definido na fase do medir, levando em consideração a mesma quantidade de dias, colaboradores e critérios para coleta.

Com a adequação da sistemática de programação houve uma melhora significativa, pois não houve atrasos no período analisado de peças semiacabadas para a próxima etapa.

Após a adequação das ferramentas foi realizado um estudo de capacidade do processo, onde, o processo em questão se mostrou estável, de acordo com a Figura 20 obtida por meio do software Minitab® é possível visualizar o CP com 1,54 e o CPK com 1,39.

Figura 20 – Capacidade do processo após melhorias



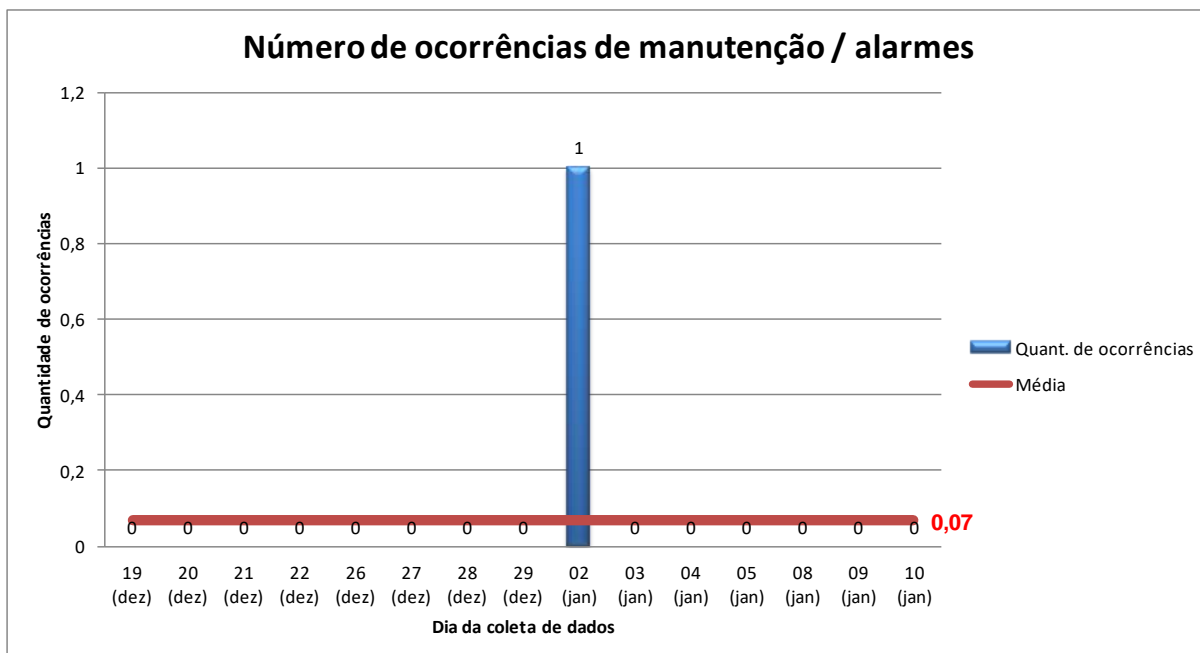
Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, com a adequação das ferramentas foi possível melhorar a característica de planicidade da peça, tal característica era comumente afetada e tornava a peça não conforme. No período analisado não houve não conformidades decorrentes de planicidade fora do especificado.

Para a redução do número de ocorrências de manutenção foram implementadas as ações de manter um estoque mínimo de óleo no almoxarifado e também adequado à sistemática de abastecimento das máquinas. Tais ações contribuíram significativamente para a redução, conforme Gráfico 12, apenas no dia 2 houve uma

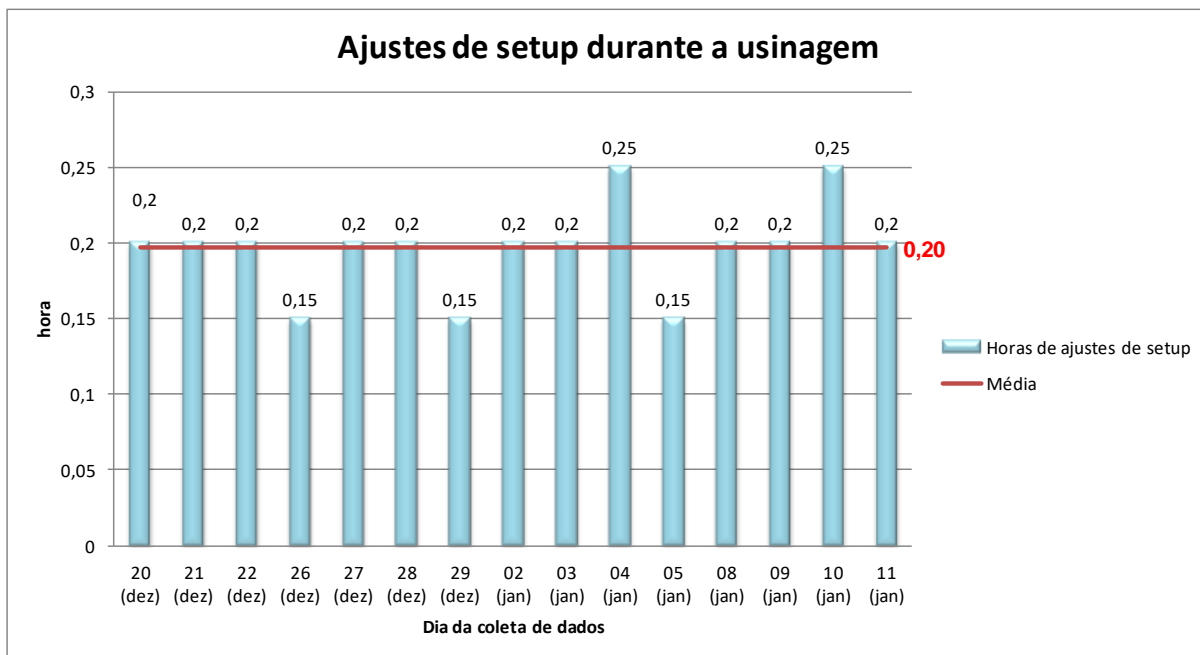
parada de máquina, porém não estava ligada a ação implementada, foi analisado e concluído como um caso pontual.

Gráfico 12 – Número de ocorrências de manutenção / alarmes



Fonte: Elaborado pelo autor

A falta de frequência definida para a troca do inserto causava ajustes de *setup* durante o processo com a média de tempo de 0,38 horas por dia. Com a definição da frequência de troca do inserto foi possível reduzir em 52% o tempo gasto com ajustes de *setup*, de acordo com o Gráfico 13, a média de tempo no período analisado foi de 0,2 horas por dia.

Gráfico 13 – Ajuste de *setup* durante a usinagem

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os devidos planos de melhorias implementados foi possível avaliar os ganhos do projeto. No Gráfico 14, é possível visualizar a redução no tempo de ciclo, decorrente das ações implementadas. A média de tempo ficou por volta de 1,12 minutos com uma amplitude de 0,08 minutos. A meta do projeto era melhorar o tempo de ciclo em 8%, passar de 48,78 peças produzidas por hora para 52,68. Com os resultados obtidos por meio das melhorias, o projeto em questão trouxe um ganho de 9,8%, ou seja, uma produção de 53,57 peças por hora, Gráfico 15.

Gráfico 14 – Tempo de medição

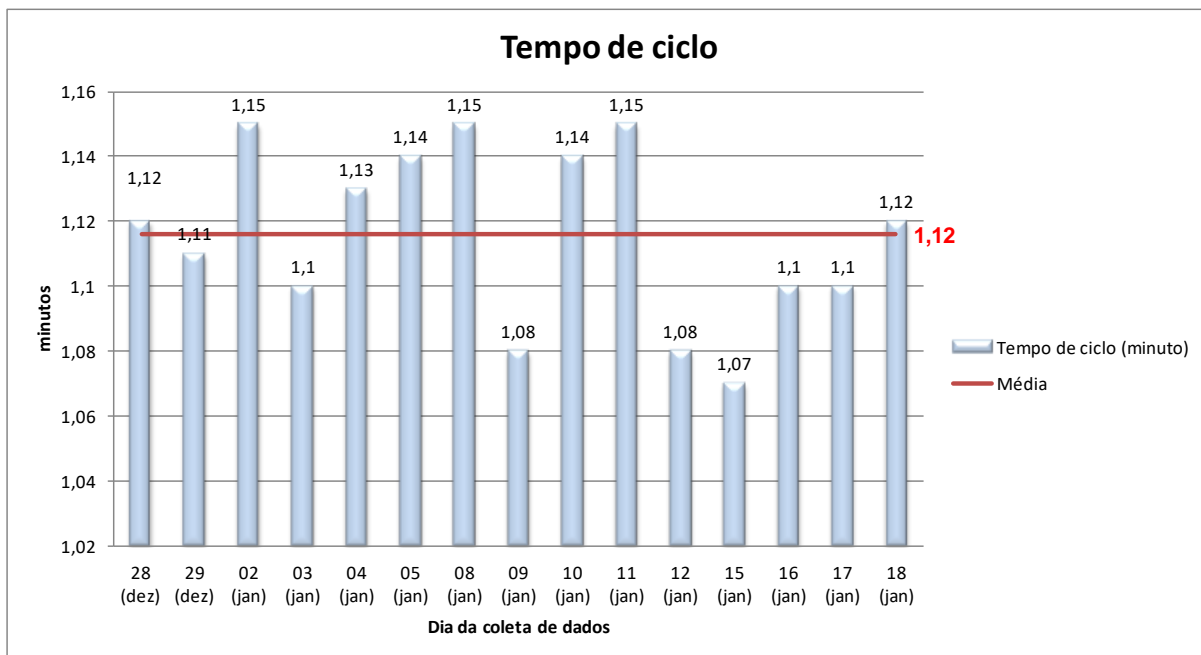
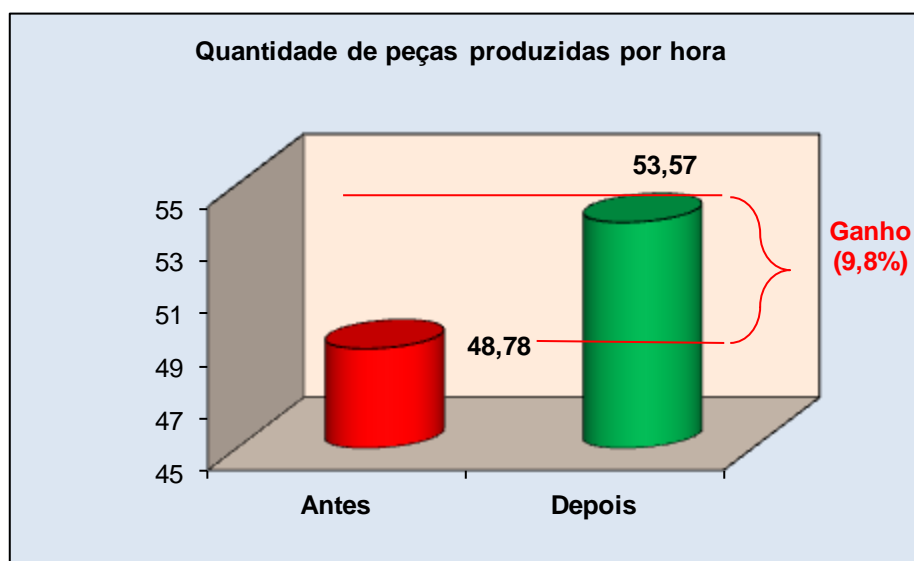


Gráfico 15 – Quantidade de peças produzidas após as melhorias



5.2.5. Fase Controlar

Nesta fase o Black Belt definiu junto com a equipe do projeto um plano de controle. Este plano de controle terá o propósito de manter os ganhos no decorrer do tempo. O dono do processo (*Process Owner*) terá a responsabilidade de manter

esses ganhos para o processo, e para isso deverá seguir o plano de controle detalhado no Quadro 30. Foram definidas 8 atividades e cada atividade têm um responsável para uma dada frequência de medição. Apesar da finalização do projeto, cabe ainda, o Black Belt auditar o projeto com base neste plano pelo menos duas vezes no decorrer de 18 meses, e caso não estejam sendo alcançados os resultados esperados deverá intervir com a equipe.

Quadro 30 – Plano de controle

PLANO DE CONTROLE															
Atividade	Responsável	Frequência	2018												2019
			fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	
Monitorar os indicadores (Quantidade de peças semi-acabadas entregue em atraso, ocorrência de manutenção, Ajustes de setup durante a usinagem e % de peças não conforme.	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Avaliar a capacidade do processo (CP e CPK > 1,33).	Processos e produção Paulo e Eduardo	Trimestral	<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Manter estoque de óleo no almoxarifado.	Manutenção / Compras Everton e Juliana	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manter os lubrificadores treinados na ITMAM01 (Instrução sobre abastecimento de óleo das máquinas).	Marcos	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manter kit de ferramentas devidamente identificados no almoxarifado.	Produção Tiago	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manter os programas CNC's com a frequência definida para a troca do inserto.	Desenvolvimento de processos Paulo	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Manter os operadores e preparadores treinados na ITUS07 (instrução sobre troca de inserto).	Produção Eduardo / Tiago	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitorar o tempo de ciclo.	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Obs.: Esse plano de controle é de responsabilidade do Process Owner, todas as melhorias devem ser mantidas e monitoradas pelo Process Owner. Em caso de descumprimento o process owner deve procurar o Black belt para analisar as mudanças e comunicar o Sponsor. O Black belt deverá auditar o projeto com base neste plano de controle pelo menos duas vezes no período de 18 meses.

Fonte: Elaborado pelo autor.

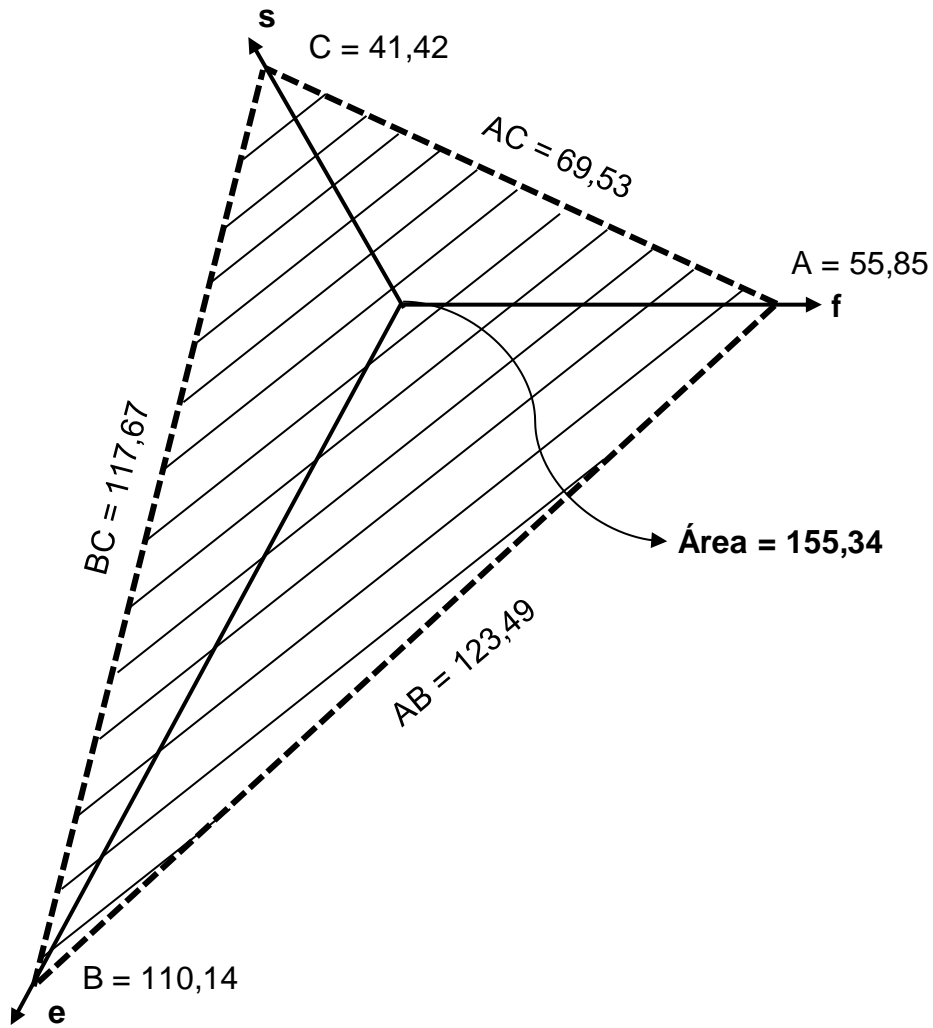
5.2.6. Resultado do ciclo 1 da pesquisa-ação

Como era esperada, a aplicação do projeto Seis Sigma tradicional atendeu a meta proposta como desafio de melhorar o tempo de ciclo em 8%. Tal melhora, atingiu um ganho no tempo de ciclo de 9,8%. Além da vantagem econômica, o ciclo 1 da pesquisa-ação buscou analisar quais os ganhos ambientais e sociais seriam possíveis apenas com a aplicação do projeto Seis Sigma de forma tradicional, ou seja, sem levar em consideração o aspecto ambiental e social. Na Figura 21 é possível visualizar a área do triângulo que representa o nível de sustentabilidade do

processo após o ciclo 1. Baseado na Tabela 5, o nível de sustentabilidade do processo passou de 147,27 para 155,34, ou seja, houve um ganho no nível de sustentabilidade do processo em torno de 5,5%. É interessante notar, que além da performance econômica ter aumentado de 50,86 para 55,85 decorrente das melhorias do projeto Seis Sigma tradicional, as performances ambiental e social também melhoraram. O desempenho ambiental evoluiu de 104,84 para 110,14. Isso ocorreu devido o fato do pequeno aumento da quantidade de peças produzidas por aresta de corte do inserto, de 55,55 para 58,81 peças. Este ganho ocorreu em função dos avanços realizados com foco na redução do tempo de ciclo. Ainda, no aspecto ambiental, houve um ganho no consumo de energia elétrica, de 60,98 peças produzidas a cada 10kWh para 66,97 peças. Assim, como o ganho no consumo de inserto, a redução no consumo de energia elétrica foi possível devido as melhorias realizadas no tempo de ciclo.

O desempenho social teve um pequeno aumento de 41,14 para 41,42. Esse incremento foi possível devido à quantidade maior de peças produzidas por horas perdidas por acidentes. Antes das melhorias do Seis Sigma tradicional com foco no aspecto econômico era de 10,59 peças por horas perdidas com afastamento por acidente, após as melhorias passou para 11,63 peças, ou seja, a empresa passou a produzir mais peças com o mesmo tempo de afastamento. Analisando os ganhos é possível reconhecer que mesmo o foco do projeto sendo apenas no aspecto econômico, os aspectos ambiental e social foram ligeiramente melhorados.

Figura 21 – Área do triângulo após o Seis Sigma



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Sustentabilidade após o projeto Seis Sigma convencional

Aspectos	Indicadores	Valores	Performance	AB, AC, BC	Nível de sustentabilidade
Ambiental	e ₁ - geração de cavacos (peças / kg)	16,32	110,14	123,49	155,34
	e ₂ - consumo de óleo solúvel (peças / litros)	62,61			
	e ₃ - consumo de inserto de Usinagem (peças / arestas de corte)	58,81			
	e ₄ - consumo de energia elétrica (peças / 10 kwh)	66,97			
Econ.	f ₁ - tempo de ciclo (peças / hora)	53,57	55,85	69,53	
	F ₂ - custo da mão-de-obra (peças / R\$ 10,00)	15,78			
Social	s ₁ - nível de iluminação (lux real/lux padrão)x10	10,25	41,42	117,67	
	s ₂ - horas perdidas devido acidentes (peças / (hora x 10 ⁻³))	11,63			
	s ₃ - horas de treinamento (hora / (peça x 10 ⁻⁶))	35,79			
	s ₄ - nível de ruído ((dB padrão/dB atual) x10)	13,93			

Fonte: Empresa pesquisada.

5.3. PROJETO SEIS SIGMA MODIFICADO (SEIS SIGMA SUSTENTÁVEL)

Para o ciclo 2 da pesquisa-ação foi seguido a proposta de modelo de integração das variáveis ambientais e sociais nas fases do DMAIC, proposta no capítulo 3. O ciclo 2 da pesquisa-ação aconteceu de forma paralela com ciclo 1.

5.2.1. Fase Definir

Após definido o escopo e a meta do projeto no ciclo 1 da pesquisa-ação, o Black Belt em conjunto com o Sponsor do projeto propuseram uma meta de melhoria do nível de sustentabilidade na ordem de 15% e revisaram o caso do negócio definido no Project charter.

O *Black Belt* com a equipe do projeto reunida revisou o *Project charter*, incluindo a meta de melhoria do nível de sustentabilidade do processo e as variáveis ambientais e sociais que interferem diretamente, e por fim acrescentado as

oportunidades em empreender este projeto, os detalhes podem ser visualizados no Quadro 31.

Quadro 31 - Project Charter do projeto Seis Sigma modificado (Seis Sigma sustentável)

Título do projeto	Redução do tempo de ciclo e melhoria do nível de sustentabilidade do processo
Caso do Negócio	Com a expansão global dos mercados, e os clientes mais exigentes, têm se tornado indispensável à melhora dos processos de fabricação em relação à qualidade, prazo de entrega e preço do produto, além da necessidade dos processos de fabricação se tornar cada vez mais sustentáveis. Diante deste cenário, foi identificada a necessidade de ações de melhorias no processo de usinagem, com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo e melhorar seu nível de sustentabilidade.
Resumo da Meta	<p>Y= reduzir o tempo de ciclo em 8% até jan/18.</p> <p>S= aumentar o nível de sustentabilidade do processo em 6% até jan/18.</p> <p>x1= Programação de produção; x2= Programa CNC; x3= Ferramental.</p> <p>e1= Geração de resíduo; e2= Consumo de energia elétrica; s1= Afastamento por acidente; s2= Ruído.</p>
Cronograma do Projeto	<p>- Definir: 25/09/17 – 11/10/17</p> <p>- Medir: 12/10/17 – 07/11/17</p> <p>- Analisar: 08/11/17 – 14/12/17</p> <p>- Melhorar: 15/12/17 – 10/02/18</p> <p>- Controlar: 11/02/18 – 17/02/18</p>
Lista de Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do atraso; • Aumento da capacidade produtiva; • Competitividade; • Contribuição com o meio ambiente; • Melhoria na qualidade de vida dos colaboradores; • Melhoria da imagem da empresa no mercado.

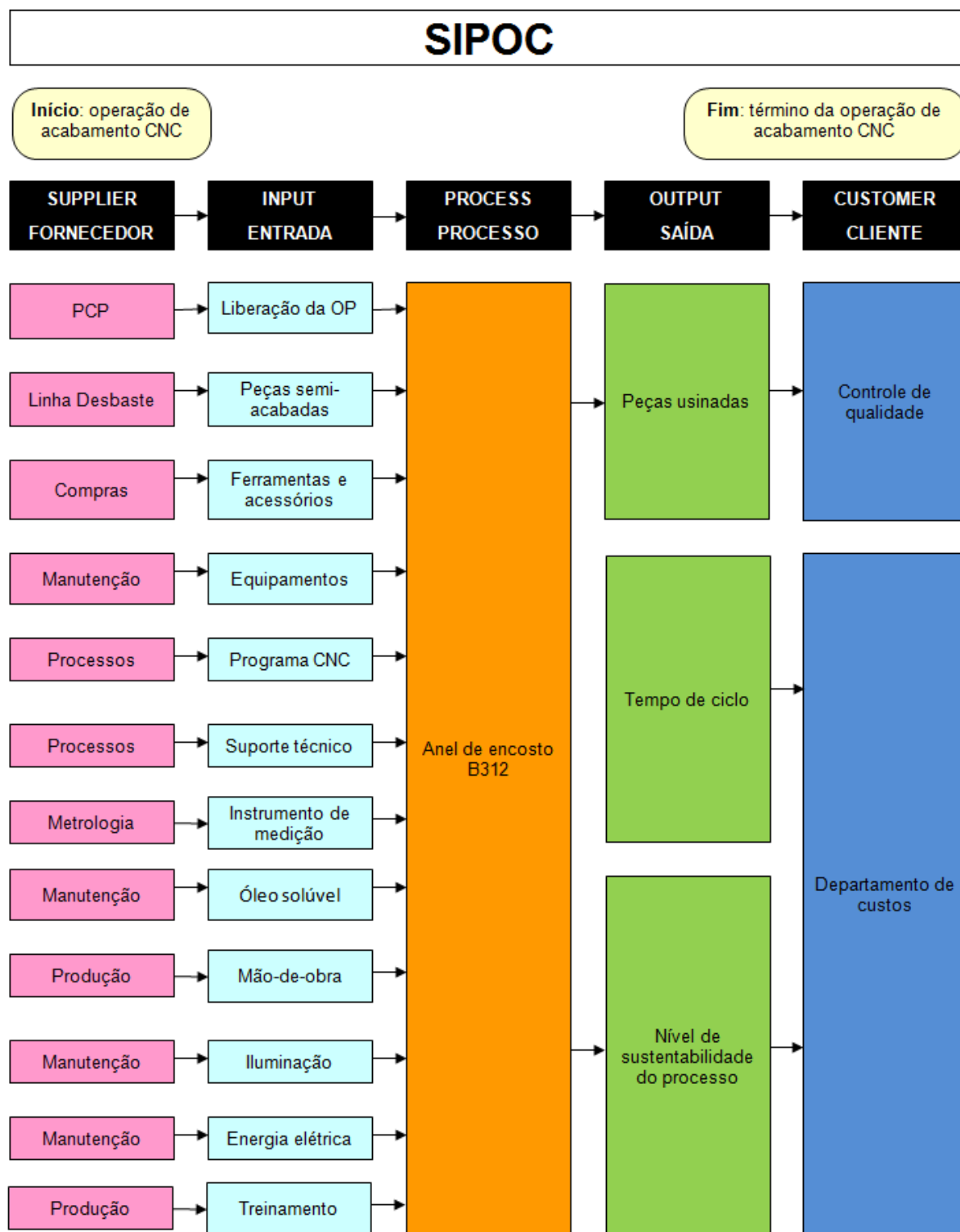
Escopo	Áreas envolvidas: Usinagem 1, anel de encosto B312 Fora do escopo: Demais áreas e itens
Equipe	Sponsor: João Black Belt: José Carlos Process Owner: Eduardo Green Belts: Marcos e Paulo Yellow Belts: Caio e Cleber Team Members: Fabio, Maria e Anderson.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a inclusão do novo objetivo e meta, no ciclo 2 dessa pesquisa-ação foi desenvolvido o *SIPOC* levando em consideração no processo estudado as variáveis ambientais e sociais. Após a inclusão das variáveis ambientais e sociais no processo estudado, a equipe reunida complementou o *SIPOC*, Quadro 32. Além das entradas levantadas no ciclo anterior, foi acrescentado: óleo solúvel fornecido pela manutenção, a mão-de-obra da produção, a iluminação fornecida pela manutenção, energia elétrica fornecida pela manutenção e por fim os treinamentos realizados pela produção.

O processo estudado neste ciclo continuou-se restringido apenas ao anel de encosto de código B312. Além das saídas consideradas no ciclo anterior foi acrescentado o nível de sustentabilidade do processo, os clientes foram mantidos.

Quadro 32 - SIPOC do projeto Seis Sigma modificado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta etapa o *Black Belt* realizou uma reunião com a equipe e foi reavaliada a matriz de oportunidade e riscos desenvolvida no ciclo anterior, levando em consideração a questão do nível de sustentabilidade do processo. O objetivo foi

avaliar os riscos e oportunidade a curto e longo prazo de implementar ou não o projeto Seis Sigma modificado neste processo de fabricação, a matriz pode ser visualizada em detalhes no Quadro 33.

Quadro 33 – Matriz de oportunidade e risco do projeto Seis Sigma modificado

MATRIZ DE OPORTUNIDADE x RISCO		
	Riscos (se não fizermos o projeto)	Oportunidade (se fizermos o projeto)
Curto prazo	<ul style="list-style-type: none"> -Queda na Participação do Mercado / Inviabilidade do Negócio; -Prejuízo; -Baixa Competitividade; -Insatisfação do cliente; -Utilização inadequada dos recursos disponíveis; -Maior lead time de fabricação; -Perda de faturamento; -Maior consumo de recursos naturais; -Acidente do trabalho; 	<ul style="list-style-type: none"> -Reduzir custo de fabricação; -Padronização do planejamento e dos processos; -Melhoria da eficiência e eficácia nos processos; -Aumento da capacidade produtiva no equipamento; -Aumento da produtividade; -Melhor utilização dos recursos disponíveis; -Imagem positiva com o cliente; - Redução no consumo de recursos naturais; -Redução de acidentes do trabalho.
Longo prazo	<ul style="list-style-type: none"> -Perda do cliente; -Inviabilidade do negócio; -Redução do quadro de funcionários; -Gastos elevados; -Perda de competitividade; -Baixa eficiência do equipamento; -Gargalo no equipamento; -Doenças ocupacional; -Esgotamento de fontes naturais; -Gastos com destinação de resíduos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Conquistar novos clientes / produtos; -Viabilidade do negócio; -Ser mais competitivo; -Evitar investimento desnecessário; -Contribuir com as gerações futuras; -melhor qualidade de vida para os colaboradores.

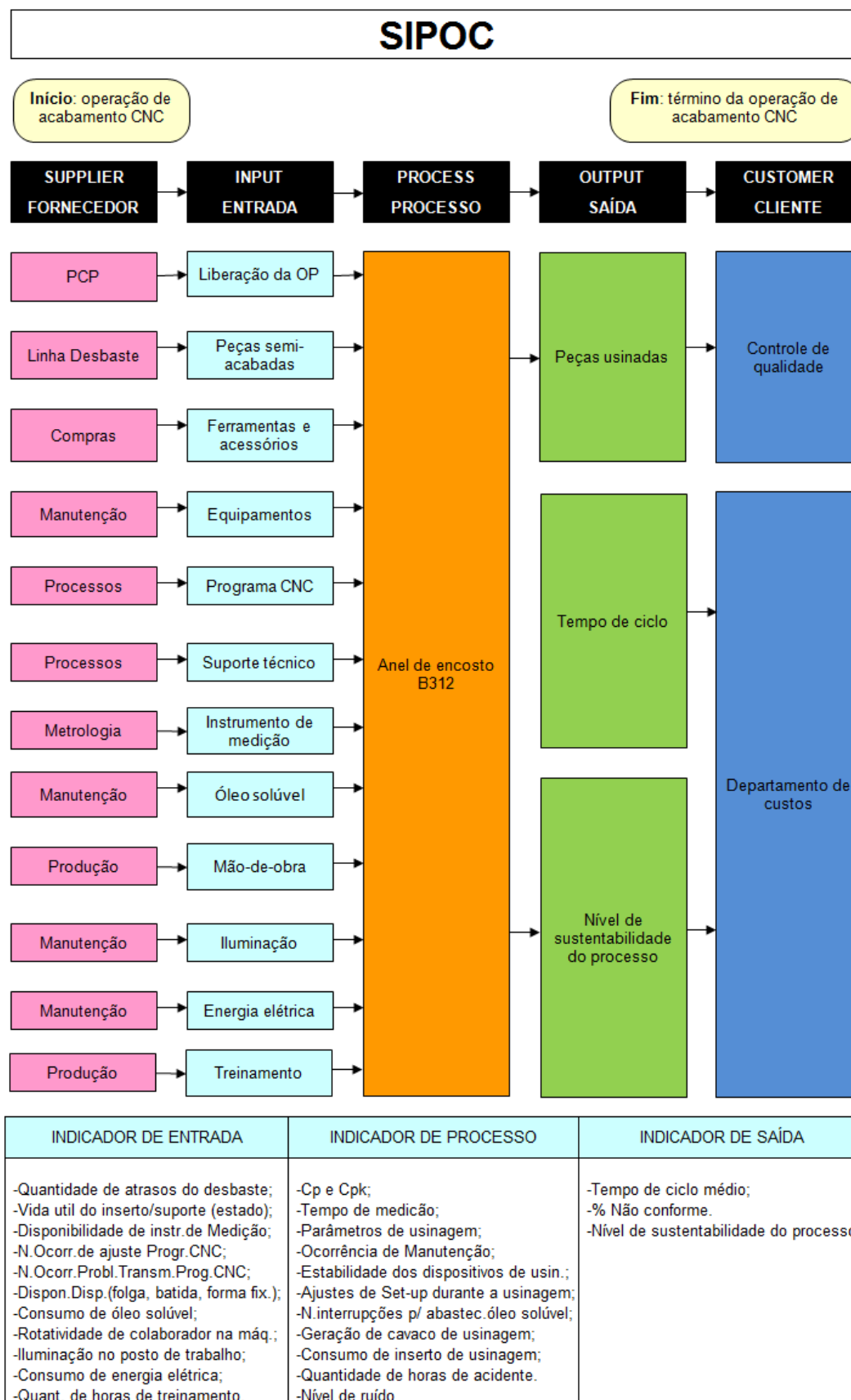
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.2. Fase Medir

Nesta fase a equipe utilizou o *SIPOC* elaborado na fase anterior para identificar os indicadores de medição para a entrada, o processo e a saída, foram identificados apenas os indicadores que tem relação com as variáveis ambientais e sociais, pois no ciclo 1 já haviam sido identificados os indicadores referente ao projeto Seis Sigma tradicional. Os indicadores identificados para a entrada foram: o consumo de óleo solúvel, rotatividade de colaboradores na máquina, iluminação no posto de trabalho, o consumo de energia elétrica e quantidade de horas de treinamento. Para

os indicadores do processo foram: geração de cavaco de usinagem na produção, consumo de inserto de usinagem e quantidade de horas de acidentes gerada no processo. E por fim, os indicadores de saída que foi acrescentado o nível de sustentabilidade do processo, todos os indicadores podem ser visualizados no Quadro 34.

Quadro 34 – SIPOC x Indicadores para o projeto Seis Sigma modificado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo após definido os indicadores de medição para a entrada, o processo e a saída, foi definido em conjunto com a equipe do projeto o plano de medição para cada indicador, tais indicadores podem ser visualizados em detalhes nos Quadro 35, 36 e 37.

Quadro 35 – Plano de medição para os indicadores de entrada (projeto Seis Sigma modificado)

PLANO DE MEDIÇÃO - INDICADORES DE ENTRADA							
Medição de Performance	Definição Operacional	Fontes de Dados	Qt. da Amostra	Resp. pela Medição	Qdo. será Coletado	Como será Coletado	Outros Dados que Podem ser Coletados
Vida útil do inserto	Vida útil= numeros de peças usinadas por aresta de corte desde a colocação do inserto até a substituição do mesmo.	Usinagem 1	Média de 3 insertos	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro + Planilha na máquina	Registrar data, código do inserto / suporte, fabricante, condição de uso do inserto e suporte
Número de peças semi-acabadas entregue em atraso	considerar a data de entrega da OP do semi-acabado	Na chegada do lote pré-usinado da operação anterior em questão.	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Marcar a data e hora que chegou e o tempo que a máquina ficou parada
Disponibilidade do instrumento de Medição	Verificar se o instrumento está ou não disponível qdo ocorrer a necessidade do uso.	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Marcar se operador busca o instrumento enquanto a máquina esta operando ou se quando a máquina está parada, e quantidade de ocorrência ou se está disponível.
Número de ocorrência de ajuste de programa CNC	Verificar se após o setup ocorre ajustes de programa	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tipo de ajuste, motivo do ajuste e tempo para efetuar o ajuste e a frequência.
Número de ocorrência de problemas com a transmissão de ajuste de programa CNC	Parada da máquina devido espera pela transmissão do programa, dificuldade na transmissão ou erro.	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto p/ passar o programa cnc, o tipo de erro, quem efetuou a transm.operador ou programador, etc.
Disponibilidade do dispositivo (folga, Batida, facilidade de fixação/uso)	se o dispositivo esta disponível e em condições de uso	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto procurar dispositivo ou substituir
Consumo de óleo solúvel	Realizar o reabastecimento do tanque	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar a quantidade de litros
Rotatividade de colaboradores na máq.	Anotar os colaboradores que trabalharam na máquina (mesmo para cobrir outro colaborador)	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o motivo da substituição
Iluminação no posto de trabalho	Realizar uma medição no inicio de cada turno	Usinagem 1	1 por turno	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o valor encontrado pelo luxímetro
Consumo de energia elétrica	Fazer a medição do consumo por turno x peças produzidas. A produção irá apenas lançar na planilha a quantidade de peças e a manutenção o consumo por turno	Usinagem 1	1 por turno	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo Weverton (manutenção)	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	A manutenção fará a coleta do consumo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 36 – Plano de medição para os indicadores de processo (projeto Seis Sigma modificado)

PLANO DE MEDIÇÃO - INDICADORES DE PROCESSO							
Medição de Performance	Definição Operacional	Fontes de Dados	Qt. da Amostra	Resp.pela Medição	Qdo.será Coletado	Como será Coletado	Outros Dados que Podem ser Coletados
Parâmetros de usinagem	Marca em qual nível está o potenciometro do equipamento, quantos RPM e velocidade de corte	Usinagem 1	3	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Verificar se esta sendo seguido o plano de usinagem
Número de ocorrência de manutenção / alarmes	Alarmes que provoquem a parada do equipamento, diminua a produtividade, ou reincidência de manutenção.	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro + Planilha na máquina	Registrar data tipo da ocorrência, tempo de parada, e disposição da pendência.
CP/ CPK	Preencher a carta CEP	Usinagem 1	1 carta em 3 turnos	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	entre 16/10/17 e 06/11/17	Planilha de capacidade	Registrar o numero da máquina, nome do operador, data.
Ajustes de setup durante a usinagem	Tempo gasto p/ ajustar o setup no momento em que estiver sendo efetuado produção	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto p/ ajustar o processo, o motivo do ajuste, quem efetuou o ajuste preparador ou programador, etc.
Número de interrupções para abastecimento de óleo solúvel	parada da máquina para abastecer o óleo	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto para abastecer a máquina
Estabilidade do dispositivo de usinagem	se o dispositivo causa variação no processo (folga, dadinifica a peça, etc)	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo inicial e final gasto para substituir
Tempo de medição	Tempo gasto p/ medir a peça + procura de instrumento + zeramento do instrumento + Tempo aguardando auxiliar p/ medir a peça, corretor.	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar tempo inicial e final da medição, tempo de localização do instrumento.
Geração de cavaco de usinagem	Pesar na balança disponível no setor a quantidade de kg por turno.	Usinagem 1	1 por turno	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Lançar na planilha a quantidade de peças por turno
Consumo de inserto de usinagem	medir a quantidade de insertos trocado por turno	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Lançar na planilha a quantidade de peças por turno
Quantidade de horas perdidas por acidente	Tempo perdido com o afastamento do colaborador	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	Registrar o tempo em que a máquina ficou parada
Nível de ruído	Medir o ruído em frente ao equipamento quando estiver em processo de usinagem	Usinagem 1	1 vez após 2 horas do início de cada turno	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 37 – Plano de medição para os indicadores de saída (projeto Seis Sigma modificado)

PLANO DE MEDIÇÃO - INDICADORES DE SAÍDA							
Medição de Performance	Definição Operacional	Fontes de Dados	Qt. da Amostra	Resp.pela Medição	Qdo.será Coletado	Como será Coletado	Outros Dados que Podem ser Coletados
Tempo de ciclo	Marcar o tempo de fabricação do anel de encosto (início e fim de cada anel), contar quantas peças são realizadas em uma hora	Usinagem 1	3	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro	registrar se houve parada durante o processo (tempo de parada)
Percentual de peças não conforme	registrar a quantidades de peças não conforme (retrabalho e sucata)	Usinagem 1	100%	1º turno - Tiago 2º turno - Claudio 3º turno - Paulo	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro + Planilha na máquina	registrar o tipo de não conformidade
Nível de sustentabilidade do processo	Compilar os dados	Usinagem 1	100%	Jcarlos	A partir de 16/10/17 nas peças do escopo até 06/11/17	Planilha única de registro + Planilha na máquina	Resultado final do período analisado

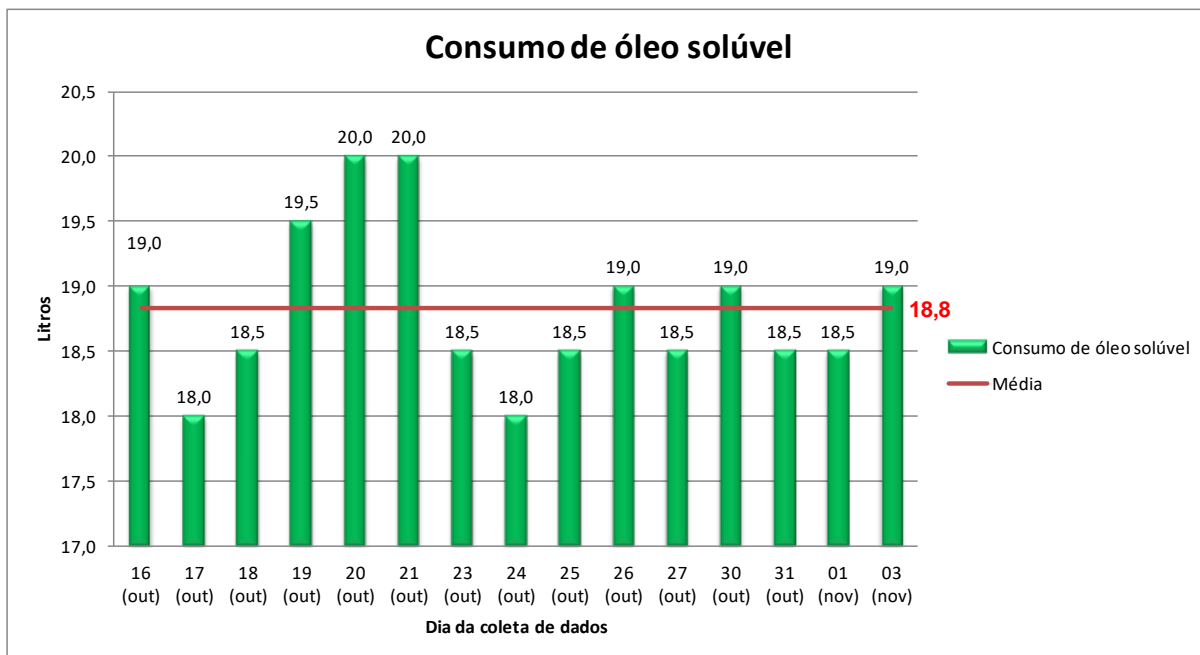
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após incluído os novos indicadores, foi necessário avaliar se o sistema de medição estava adequado. Nesta etapa foi utilizada a mesma sistemática de validação do ciclo 1 desta pesquisa-ação. Foram incluídos 10 indicadores nos planos de medição e após a validação concluiu-se que o sistema de medição proposto estava adequado para a coleta dos dados.

5.2.3. Fase Analisar

Os dados coletados na fase anterior foram estratificados pelo *Black Belt* e analisados em conjunto com a equipe do projeto. Inicialmente foi estratificado o consumo de óleo solúvel num período de 15 dias em três turnos, conforme definido no plano de medição. Analisando os dados coletado foi possível identificar um consumo médio por dia de 18,8 litros, tal consumo, há uma variação de 2 litros, ou seja, variando de 18 a 20 litros por dia, Gráfico 16.

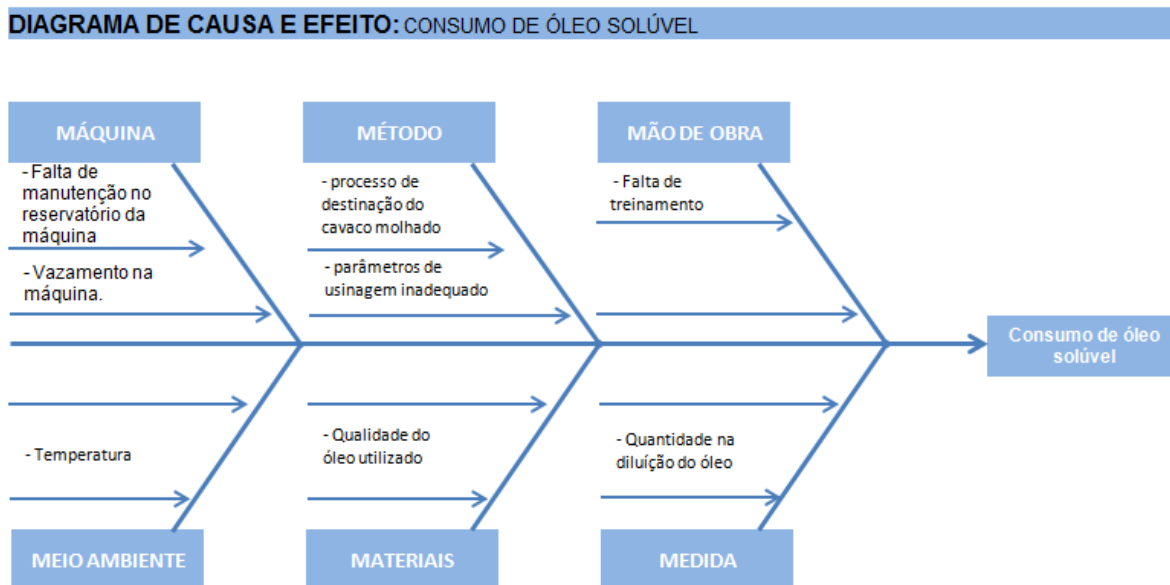
Gráfico 16 – Consumo de óleo solúvel



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o objetivo de identificar as prováveis causas do consumo de óleo solúvel, a equipe utilizou a ferramenta diagrama de Ishikawa que, neste caso, auxiliou na identificação de 8 prováveis causas que incidem no problema, tais como: falta de manutenção na máquina, vazamento na máquina, processo de destinação do cavaco, parâmetros de usinagem, falta de treinamento, temperatura, qualidade do óleo utilizado e quantidade na diluição do óleo, Figura 22. Com o auxílio da matriz de causa e efeito a equipe pontuou as prováveis causas e identificou como a principal causa o processo de destinação do cavaco molhado, a pontuação pode ser visualizada no Quadro 38.

Figura 22 – Diagrama de causa e efeito: Consumo de óleo solúvel



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 38 – Matriz de causa e efeito: consumo de óleo solúvel

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	Saída(s) do processo (S): Nome do(s) participante(s) da votação: Possíveis e's ou s's do processo (causas)	PROBLEMA PRIORITÁRIO CONSUMO DE ÓLEO SOLÚVEL							TOTAL
		Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	
		Pontuações atribuídas a cada e's ou s's							
1	Falta de manutenção no reservatório da máq.	3	5	1	1	3	1	1	15
2	Vazamento na máquina	3	3	1	1	3	1	1	13
3	Processo de destinação do cavaco molhado	3	3	5	3	5	3	3	25
4	Parâmetros de usinagem inadequado	1	1	1	3	1	3	3	13
5	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Temperatura	1	3	1	1	1	1	1	9
7	Qualidade do óleo utilizado	3	1	1	3	1	3	3	15
8	Quantidade na diluição do óleo	1	3	1	1	3	1	1	11

LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

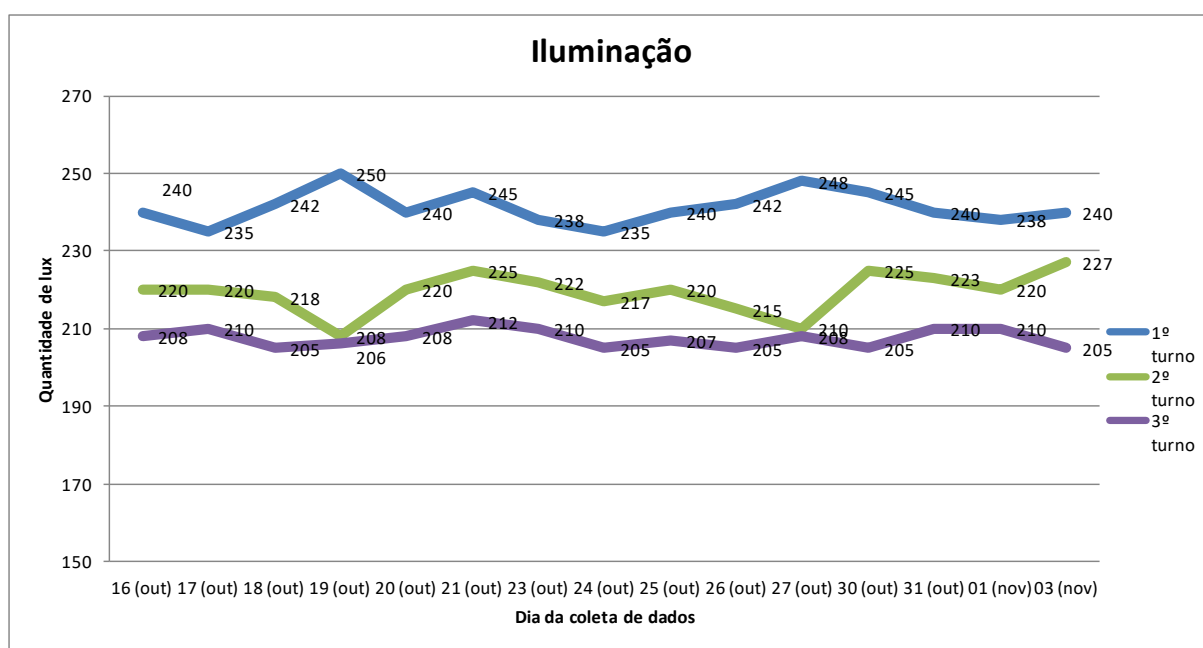
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a coleta de dados referente à rotatividade de operadores, foram estratificados os dados, e verificado que no período de 15 dias não houve substituição de operador no equipamento, apesar de não ter havido a substituição de operador, a equipe definiu como ganho rápido (*Quick win*) a criação de uma

matriz de habilidades com os operadores que estão devidamente aptos a operarem o equipamento com este produto.

Foi realizada a coleta dos dados referente à iluminação no posto de trabalho no período de 16/10/17 à 03/11/17, estratificado esses dados foi possível identificar que no período do segundo e terceiro turno a iluminação poderá ficar comprometida, pois se concentrou muito próximo dos 200 lux, iluminação mínima requerida pela legislação trabalhista, Gráfico 17.

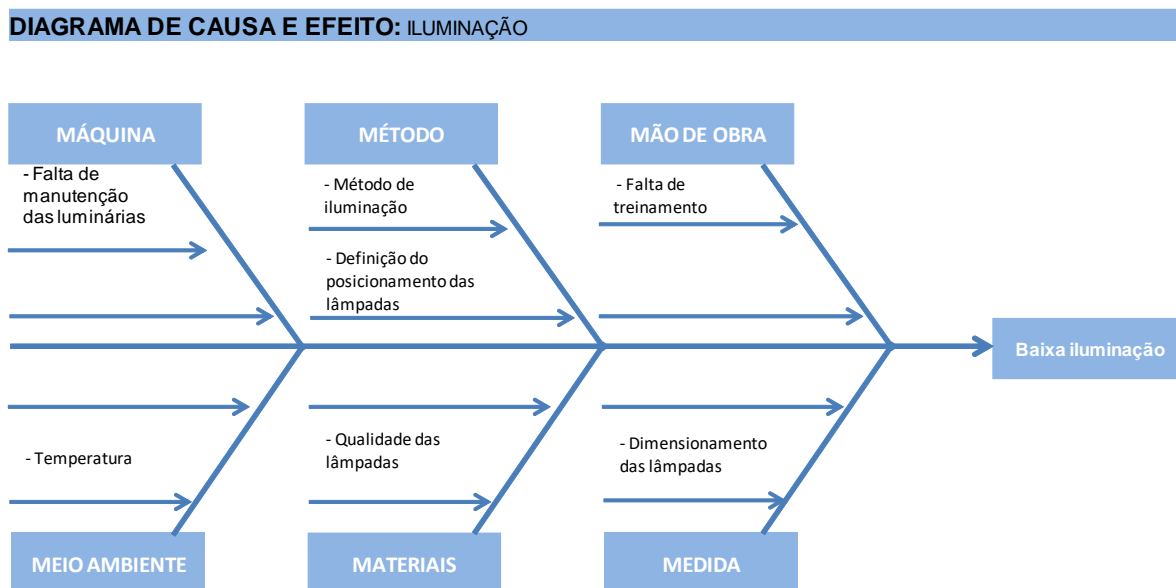
Gráfico 17 – Iluminação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio da ferramenta diagrama de causa e efeito elaborado pela equipe, foi possível identificar as prováveis causas no que se refere à baixa luminosidade no posto de trabalho no segundo e terceiro turno. Foram identificadas 7 prováveis causas para a baixa iluminação no posto de trabalho (Figura 23). Depois de identificadas as prováveis causas à equipe pontuaram por meio da ferramenta matriz de causa e efeito e definiu como as causas relevantes o posicionamento das lâmpadas e também o dimensionamento, é possível visualizar em detalhes no Quadro 39.

Figura 23 – Diagrama de causa e efeito: Iluminação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 39 – Matriz de causa e efeito: Iluminação

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	PROBLEMA PRIORITÁRIO								TOTAL
	Saída(s) do processo (S):								
	Baixa iluminação								
Nome do(s) participante(s) da votação:		Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	
Possíveis e's ou s's do processo (causas)		Pontuações atribuídas a cada e's ou s's							
1	Falta de manutenção das luminárias	3	3	1	1	1	3	1	13
2	Método de iluminação	1	1	1	1	1	1	3	9
3	Definição do posicionamento das lâmpadas	5	3	5	5	5	5	5	33
4	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
5	Temperatura	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Qualidade das lâmpadas	3	3	1	1	1	1	1	11
7	Dimensionamento das lâmpadas	5	5	5	3	5	5	5	33

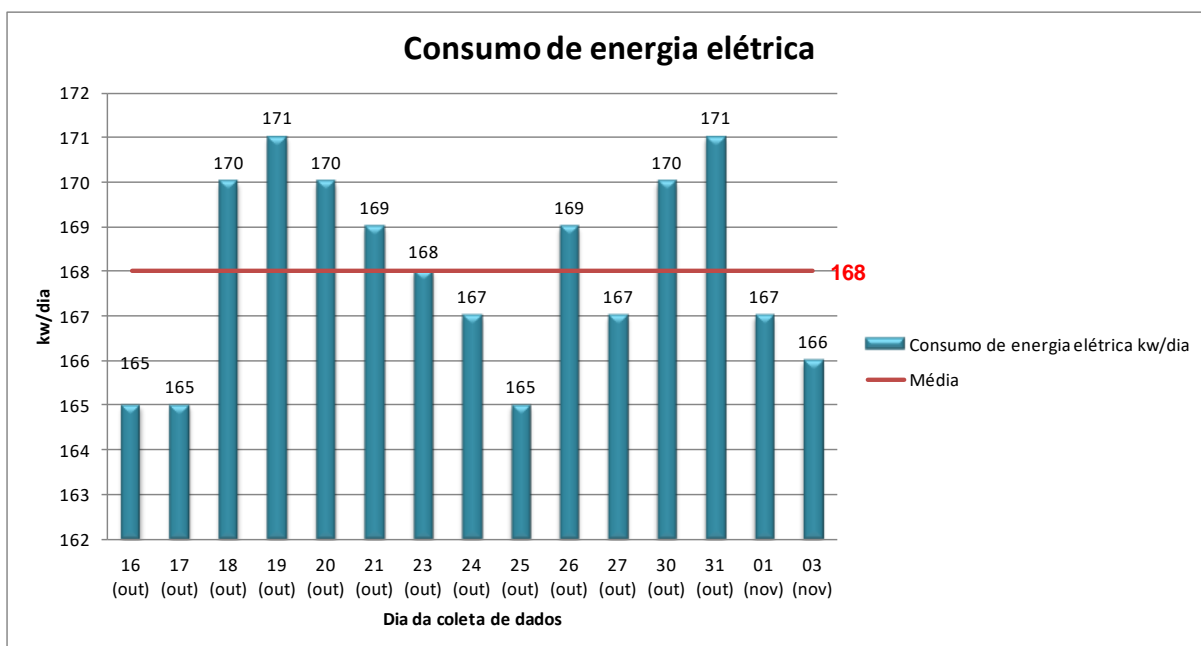
LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a coleta dos dados referente ao consumo de energia elétrica foi identificado pela equipe um ganho rápido (*Quick win*) para a redução do consumo de energia elétrica, tal consumo será minimizado com o desligamento do equipamento nos intervalos das refeições, totalizando 3 horas por dia. Com base nos dados é possível verificar que o consumo diário dos três turnos é de 168 kW com uma variação de 6 kW por dia, Gráfico 18. Com o objetivo de melhorar a eficiência no consumo de

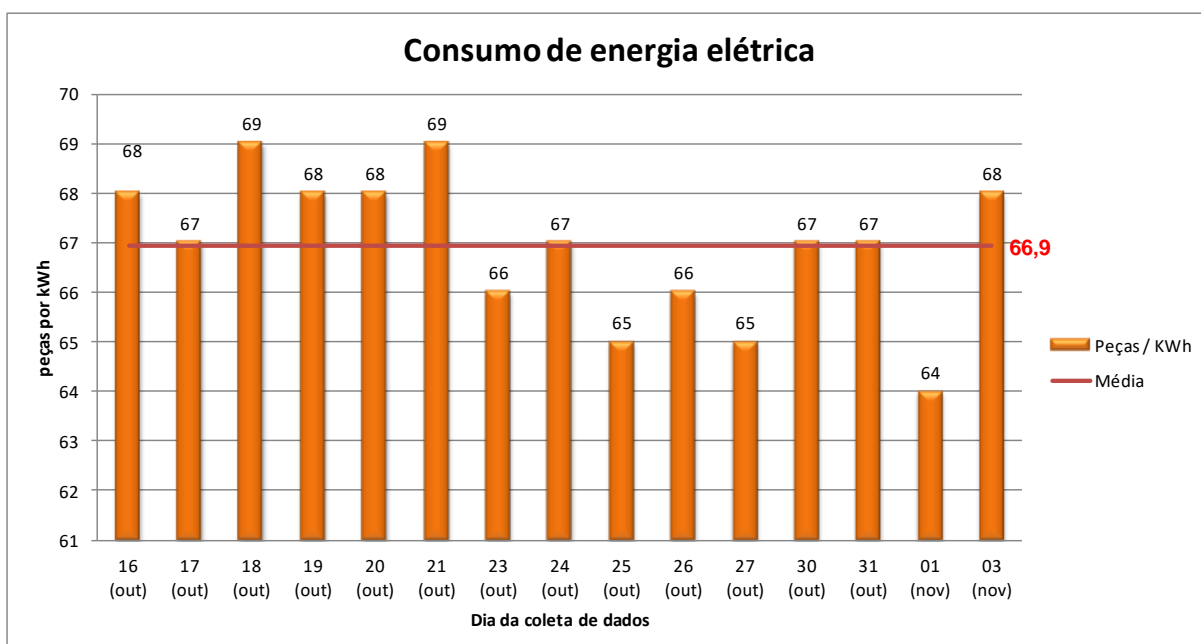
energia elétrica, ou seja, produzir mais peças com menos consumo de energia elétrica foi estratificado a quantidade de peças produzidas por kWh, a média no período analisado resulta numa eficiência de 66,9 peças por kWh, Gráfico 19.

Gráfico 18 – Consumo de energia elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor.

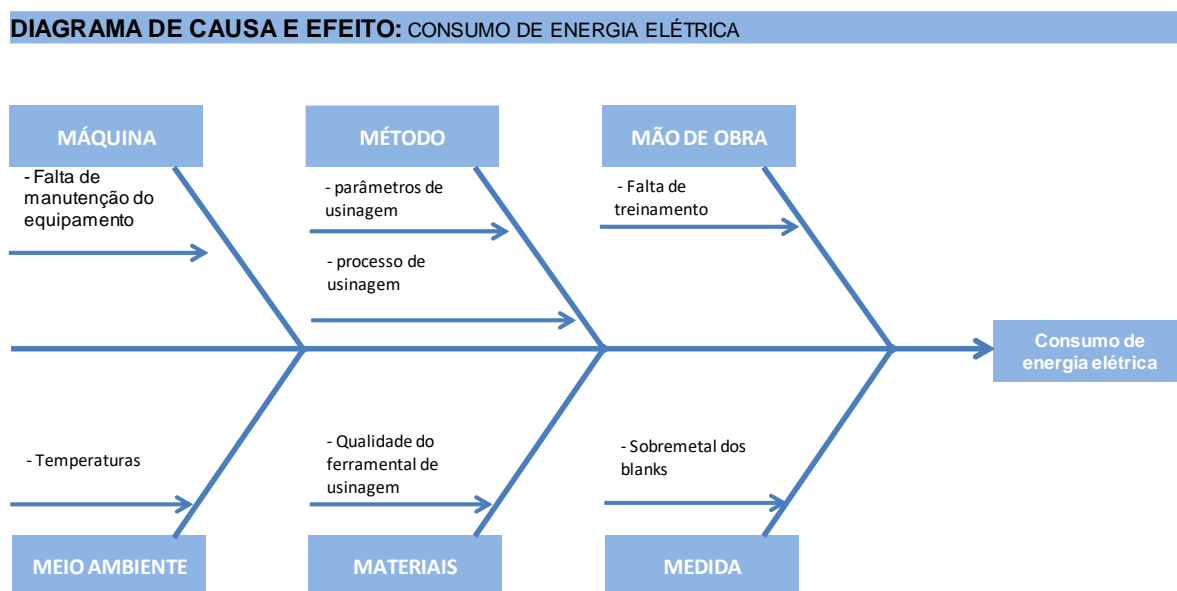
Gráfico 19 – Consumo de energia elétrica (peças / kWh)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o propósito de reduzir o consumo de energia elétrica a equipe por meio do diagrama de causa e efeito buscou identificar as prováveis causas que impactam diretamente no consumo de energia elétrica, neste caso, foram identificadas 7 prováveis causas, Figura 24. A equipe com as possíveis causas identificadas buscou identificar a causa relevante por meio da matriz de correlação e foi identificado o sobremetal nos *blanks* como sendo a causa relevante para o consumo de energia elétrica, Quadro 40.

Figura 24 – Diagrama de causa e efeito: Consumo de energia elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 40 – Matriz de causa e efeito: Consumo de energia elétrica

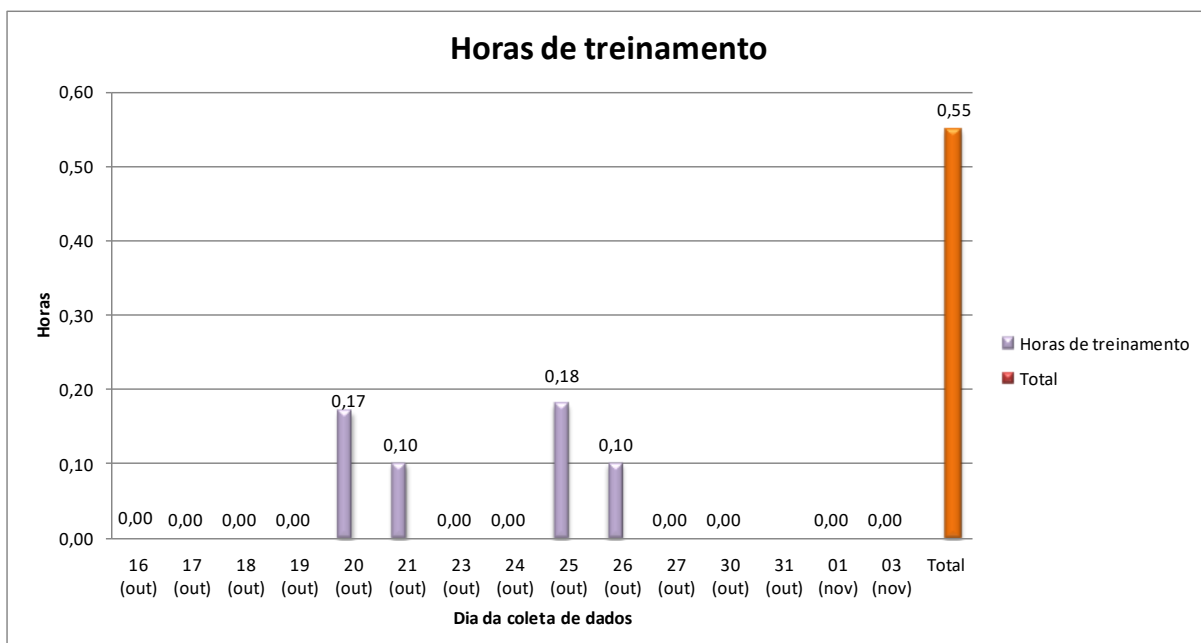
MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	PROBLEMA PRIORITÁRIO								
	Consumo de energia elétrica								
	Nome do(s) participante(s) da votação:	Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	TOTAL
Possíveis e's ou s's do processo (causas)	Pontuações atribuídas a cada e's ou s's								
1	Falta de manutenção do equipamento	1	3	1	1	1	3	1	11
2	Temperatura	1	3	1	1	1	1	1	9
3	Parâmetro de usinagem	5	3	3	1	3	3	3	21
4	Processo de usinagem	3	3	1	1	3	3	3	17
5	Qualidade do ferramental de usinagem	1	3	1	3	1	3	3	15
6	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
7	Sobremetal dos blanks	5	5	5	5	5	5	3	33

LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor.

No período de 16/10/17 à 03/11/17 foram coletados os dados referentes aos treinamentos realizados com os colaboradores que trabalham neste equipamento em estudo, foram tabulados e chegou-se à quantidade de 0,55 horas no período analisado, Gráfico 20. Como ganho rápido (Quick win) a equipe identificou a oportunidade de definir uma sistemática para reciclar os treinamentos do sistema de gestão da qualidade, meio ambiente, saúde e segurança no trabalho.

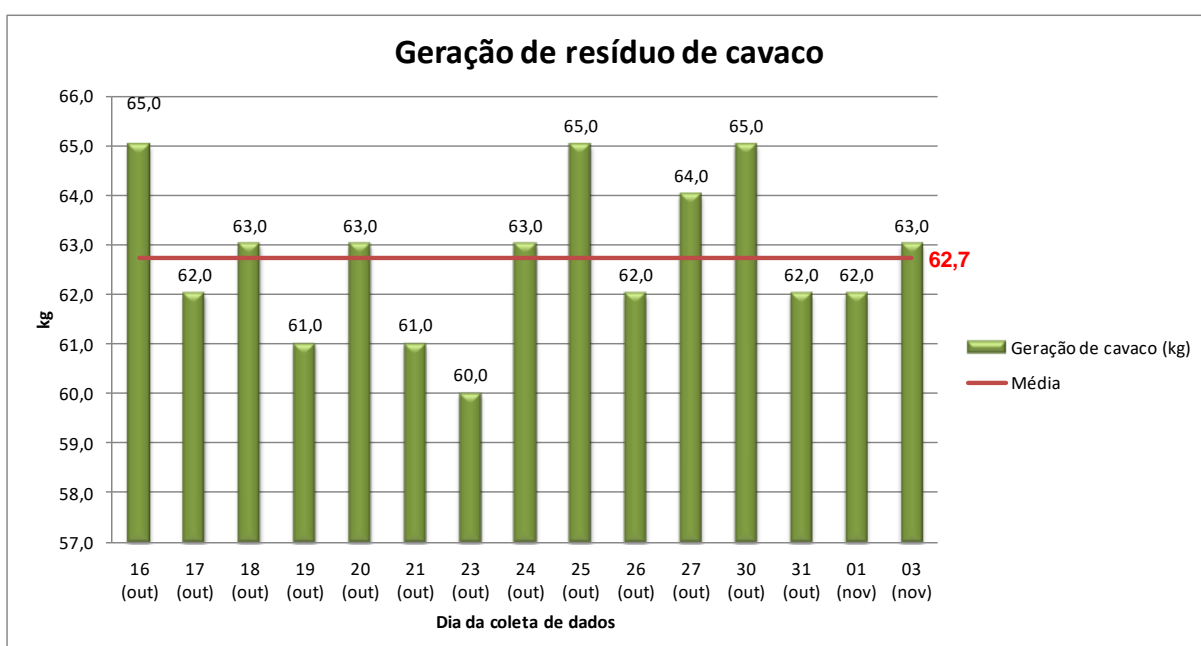
Gráfico 20 – Horas de treinamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após coletado e estratificado os dados referentes à quantidade de cavaco gerado no processo de usinagem em estudo, foi possível identificar no período analisado de 16/10/17 à 03/11/17 uma quantidade média de 62,7 kg de cavacos gerado por dia, considerando os três turnos de trabalho, Gráfico 21.

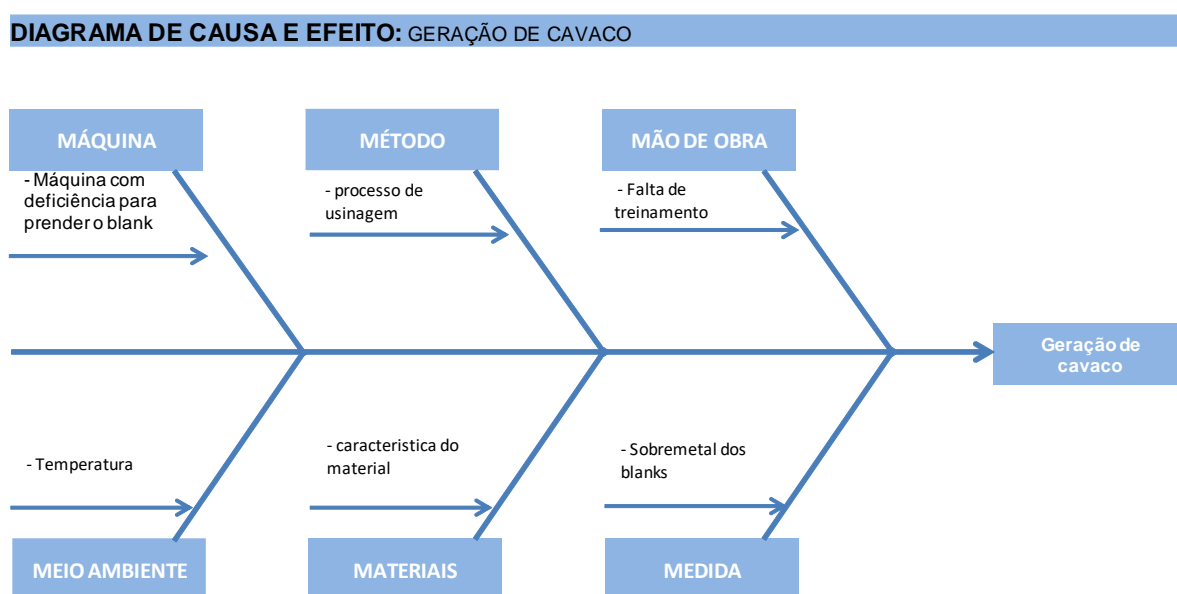
Gráfico 21 – Geração de resíduo de cavaco



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nesses dados, a equipe do projeto buscou identificar as prováveis causas por meio do diagrama de causa e efeito, que colaboram para gerar este montante de cavaco, foram identificadas 6 prováveis causa, sendo elas: máquina com deficiência para prender o *blank*, processo de usinagem, temperatura, falta de treinamento, características do material e por fim sobremetal do *blank*, Figura 25. Com a contribuição da matriz de causa e efeito a equipe pontou as prováveis causas e identificou como sendo a causa prioritária o sobremetal do *blank*, Quadro 41.

Figura 25 – Diagrama de causa e efeito: Geração de cavaco de usinagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 41 – Matriz de causa e efeito: Geração de resíduo de cavaco de usinagem

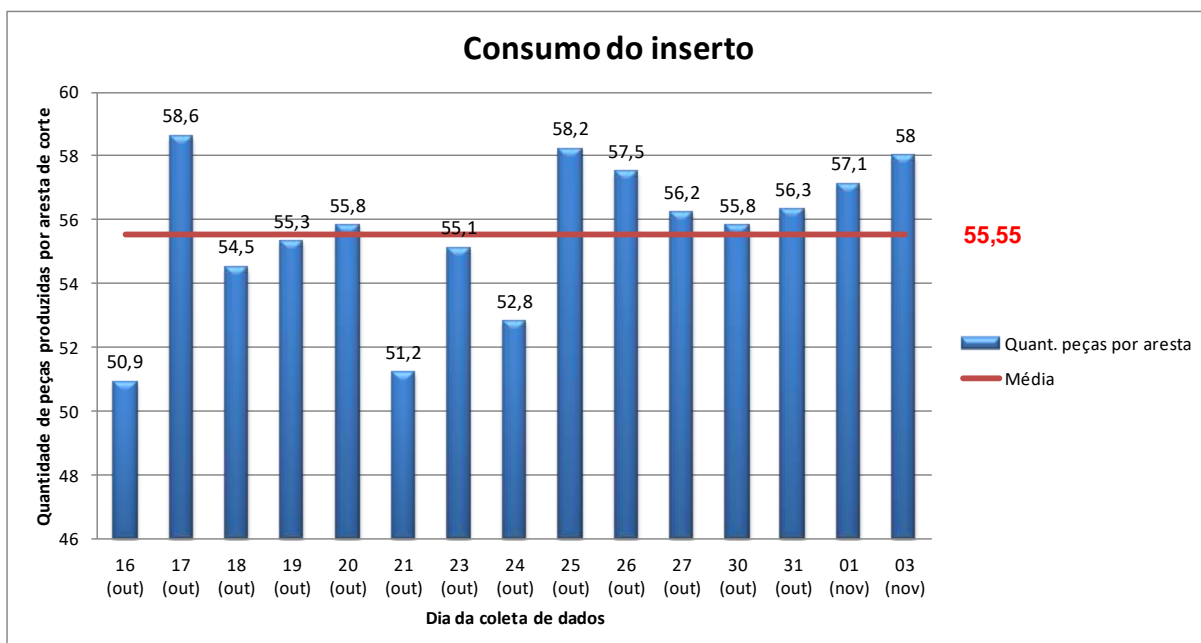
MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	PROBLEMA PRIORITÁRIO								TOTAL
	Saída(s) do processo (S):	Geração de resíduo de cavaco de usinagem							
	Nome do(s) participante(s) da votação:	Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	María	Anderson	
Possíveis e's ou s's do processo (causas)	Pontuações atribuídas a cada e's ou s's								
1	Máquina com deficiência para prender o blank	1	1	1	3	1	3	1	11
2	Temperatura	1	1	1	1	1	1	1	7
3	Processo de usinagem	3	3	5	5	3	1	1	21
4	característica do material	1	3	1	3	3	3	3	17
5	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Sobremetal dos blanks	5	5	3	5	5	5	5	33

LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de consumo do inserto de usinagem foram coletados e estratificados baseado na quantidade de peças produzidas por aresta de corte, que segundo os dados a média do período analisado ficou em 55,55 peças por aresta de corte, Gráfico 22.

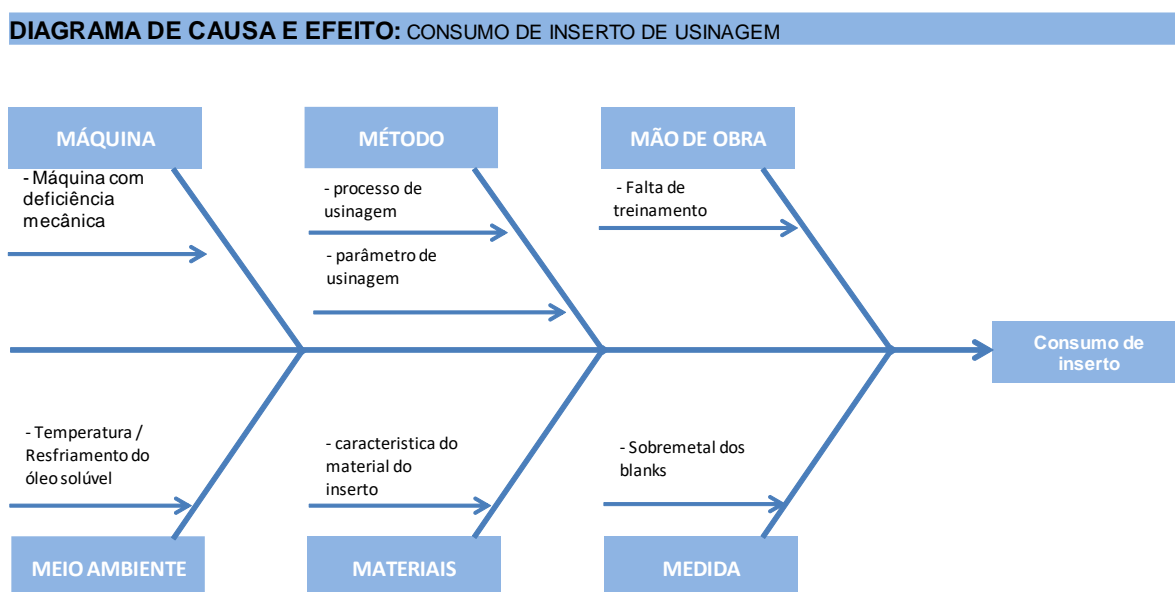
Gráfico 22 – Consumo de inserto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os dados do consumo de inserto de usinagem estratificado a equipe buscou por meio do auxílio da ferramenta diagrama de causa e efeito, identificar as prováveis causas que colaboram para o consumo de inserto e foram identificadas 7 prováveis causas que podem contribuir para este consumo, Figura 26. A equipe com as possíveis causas identificadas usou a matriz de causa e efeito para pontuar e identificar a causa prioritária, que neste caso, foi identificada como sendo o excesso de sobremetal dos *blanks*, Quadro 42.

Figura 26 – Diagrama de causa e efeito: Consumo de inserto de usinagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 42 – Matriz de causa e efeito: Consumo de inserto de usinagem

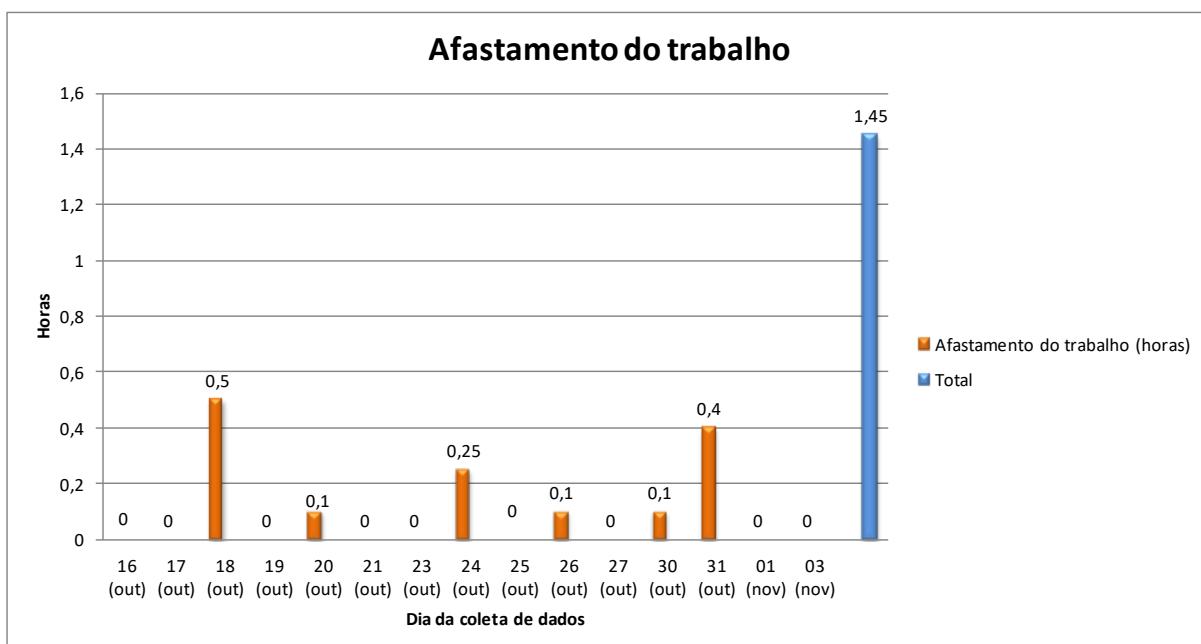
MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	Saída(s) do processo (S): Nome do(s) participante(s) da votação: Possíveis e's ou s's do processo (causas)	PROBLEMA PRIORITÁRIO Consumo de inserto de usinagem							TOTAL
		Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	María	Anderson	
		Pontuações atribuídas a cada e's ou s's							
1	Máquina com deficiência mecânica	1	1	1	1	1	3	1	9
2	Processo de usinagem	3	1	1	1	1	1	1	9
3	Parâmetro de usinagem	3	3	1	1	3	1	1	13
4	Temperatura/resfriamento do óleo solúvel	1	1	1	1	1	1	3	9
5	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Sobremetal dos blanks	5	5	3	3	5	5	5	31
7	Característica do material do inserto	3	3	1	1	1	5	3	17

LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: elaborado pelo autor.

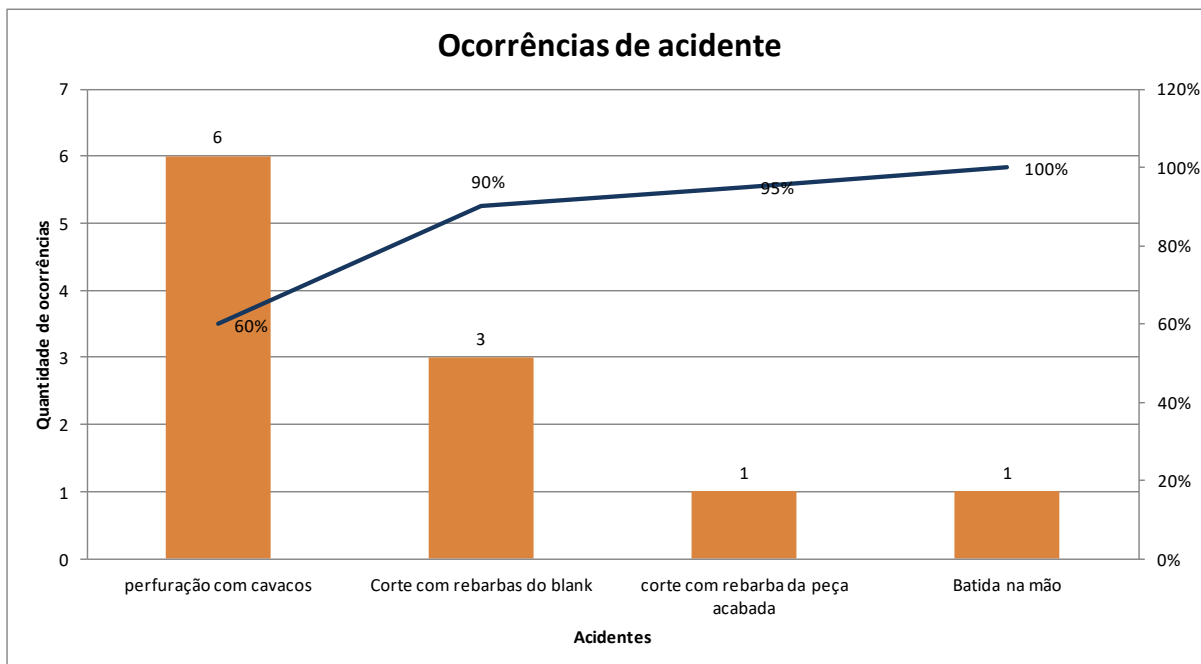
Os dados coletados, no período de 16/10/17 à 03/11/18, referentes à quantidade de horas de afastamento por acidente no trabalho, foram tabulados e estratificados. A quantidade de horas perdidas no período analisado foi de 1,45 horas, Gráfico 23. Com o objetivo de identificar as ocorrências dos acidentes foram estratificadas por meio da ferramenta diagrama de Pareto, que conforme o Gráfico 24 são os acidentes: 6 ocorrências de perfuração dos dedos com cavaco, 3 ocorrências com corte das mãos nas rebarbas proveniente do manuseio dos *blanks*, 1 ocorrência de corte das mãos na rebarba após a peça acabada e 1 ocorrência de batida das mãos nas partes da máquina.

Gráfico 23 – Afastamento do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 24 – Ocorrências de acidente

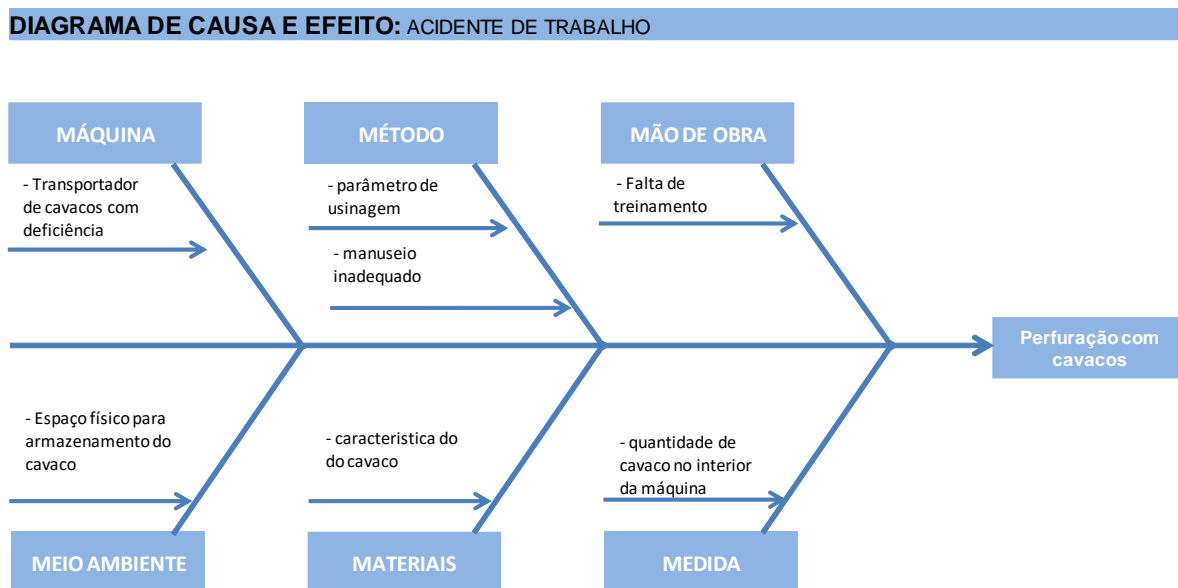


Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de estratificados os dados por meio do gráfico de Pareto, a equipe do projeto decidiu identificar as causas raízes dos acidentes por perfuração com cavacos e corte nas mãos decorrentes de rebarbas dos *blanks*, uma vez que tais acidentes representam 90% das ocorrências dos acidentes causados no período analisado.

Com o auxílio da ferramenta diagrama de Ishikawa a equipe identificou 7 prováveis causas para os acidentes com perfuração por cavaco de usinagem, sendo elas: transportador de cavacos com deficiência, parâmetros de usinagem, manuseio inadequado, falta de treinamento, espaço físico para armazenamento do cavaco, características do cavaco e quantidade de cavaco no interior da máquina, Figura 27. Com as prováveis causas identificadas a equipe pontou por meio da matriz de causa e efeito, identificando como causa prioritária o manuseio inadequado dos cavacos, Quadro 43.

Figura 27 – Diagrama de causa e efeito: Acidente de trabalho – perfuração com cavaco



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 43 – Matriz de causa e efeito: Acidente de trabalho – perfuração com cavaco

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	Saída(s) do processo (S): Nome do(s) participante(s) da votação: Possíveis e's ou s's do processo (causas)	PROBLEMA PRIORITÁRIO Perfuração com cavacos de usinagem							TOTAL
		Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	
		Pontuações atribuídas a cada e's ou s's							
1	Transportador de cavacos com deficiência	1	1	1	1	1	3	1	9
2	Parâmetro de usinagem	1	1	1	1	1	1	1	7
3	Manuseio inadequado	5	3	5	5	3	1	1	23
4	Espaço físico para armazenamento do cavaco	1	1	1	3	1	1	3	11
5	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
6	Característica do cavaco	1	3	3	3	1	1	3	15
7	Quantidade de cavaco no interior da máquina	1	3	1	3	1	1	3	13

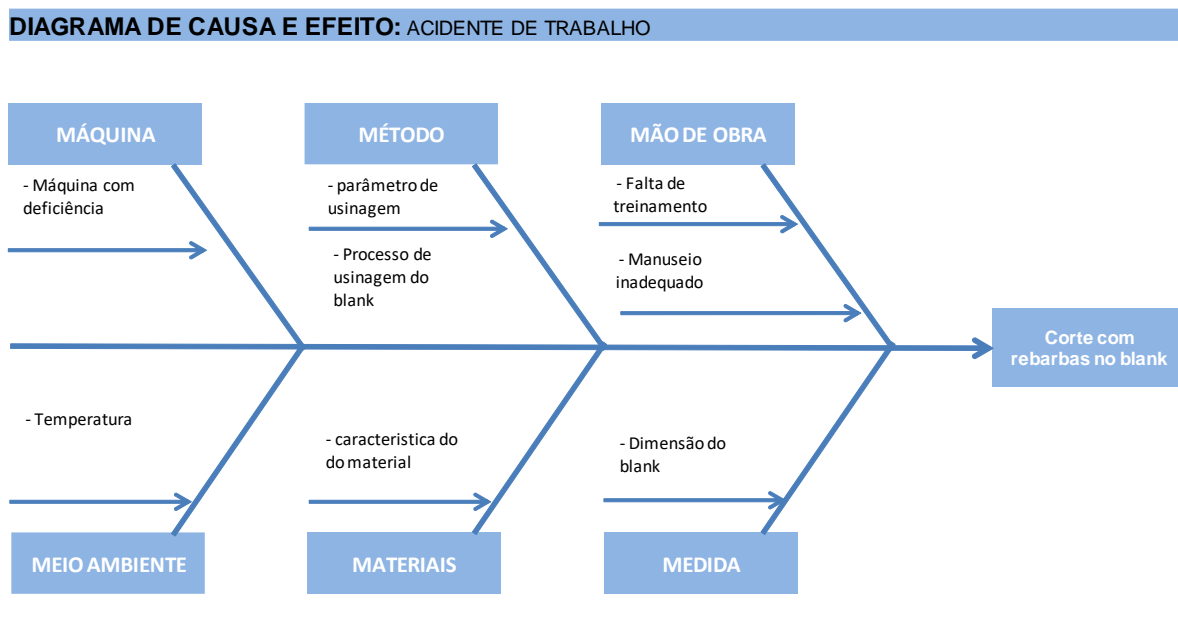
LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os cortes nas mãos decorrentes de rebarbas nos *blanks*, foram identificadas 8 prováveis causas, sendo elas: máquina com deficiência, parâmetros de usinagem, processo de usinagem do *blank*, falta de treinamento, manuseio inadequado, temperatura, característica do material e dimensão do *blank*, Figura 28. Depois de

identificada as prováveis causas, a equipe pontuou e identificou a causa principal sendo o processo de usinagem do *blank* inadequado, Quadro 44.

Figura 28 – Diagrama de causa e efeito: Acidente de trabalho – corte com rebarbas no *blank*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 44 – Matriz de causa e efeito: Acidente de trabalho – corte com rebarbas no *blank*

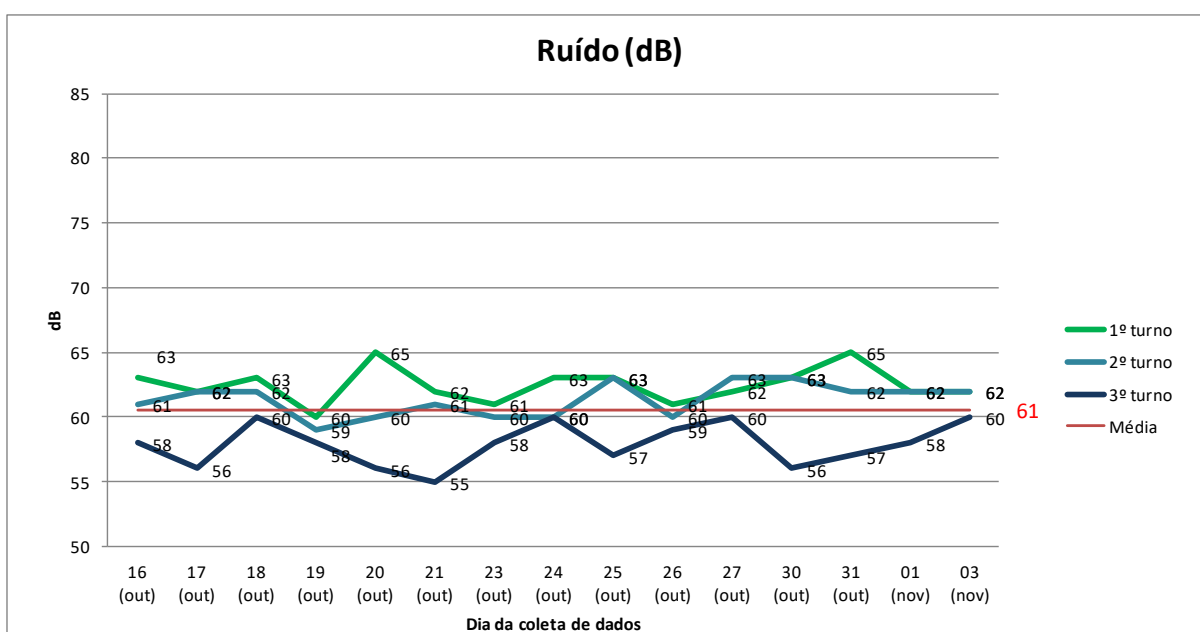
MATRIZ DE CAUSA E EFEITO									
Nº	PROBLEMA PRIORITÁRIO								
	Saída(s) do processo (S):	Corte com rebarbas no blank							TOTAL
	Nome do(s) participante(s) da votação:	Edu	Marcos	Paulo	Fábio	JC	Maria	Anderson	
Possíveis e's ou s's do processo (causas)	Pontuações atribuídas a cada e's ou s's								
1	Máquina com deficiência	1	3	1	3	1	1	1	11
2	Parâmetro de usinagem	1	3	1	3	1	1	1	11
3	Temperatura	1	1	1	1	1	1	1	7
4	Processo de usinagem do blank	5	5	5	3	5	3	5	31
5	Falta de treinamento	1	1	1	1	1	1	1	7
	Manuseio inadequado	3	3	1	1	3	1	3	15
6	Característica do material	1	1	1	3	1	1	1	9
7	Dimensão do blank	1	1	1	1	1	1	1	7

LEGENDA: 5 - Correlação Forte 3 - Correlação Moderada 1 - Correlação Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram analisados pela equipe do projeto os dados referentes ao ruído gerado durante a usinagem no período de 16/10/17 à 03/11/17, a coleta dos dados foi seguida nos três turnos. Com base nos dados a média de ruído no decorrer do processo de usinagem foi de 61 dB, o primeiro turno teve o pico mais alto com 65 dB e o pico mais baixo foi de 55 dB no terceiro turno, Gráfico 25. A equipe não identificou nenhum ganho rápido, pois a máquina já trabalha de forma enclausurada e está com 28% abaixo do ruído permitido pela legislação trabalhista.

Gráfico 25 – Ruído



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.4. Fase Melhorar

Depois de identificadas as causas raízes na fase anterior a equipe do projeto Seis Sigma propôs e implementou as ações de melhorias para as 6 causas raízes identificadas. O Plano de melhoria desenvolvido pela equipe do projeto foi baseado na ferramenta 5W2H.

Na fase anterior foi identificado pela equipe do projeto Seis Sigma a causa raiz o processo de destinação de cavaco molhado como sendo a principal causa do consumo de óleo solúvel. Com o auxílio da ferramenta 5W2H a equipe do projeto definiu e implementou o plano de melhoria para adequar a sistemática de destinação

do resíduo por meio da decantação e devolução do óleo solúvel colhido de volta na máquina, o plano de ação está detalhado e pode ser visualizado no Quadro 45.

Quadro 45 – Plano de melhoria para o consumo de óleo solúvel

PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Consumo de óleo solúvel						
Causa raiz:	Processo de destinação de cavaco molhado						
5W					2H		Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Definir sistemática de decantação do cavaco	Para não ser destinado contendo óleo solúvel	Na usinagem L1	Eduardo	até 20/01/18	Instrução de trabalho	5 horas do planejamento da usinagem	concluído
Definir sistemática para recolher o óleo decantado e devolver no equipamento	para reaproveitamento	Na usinagem L1	Eduardo + Responsáveis por recolher o cavaco	até 20/01/18	Definir na IT da manutenção	1 horas do planejamento de manutenção	concluído

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à iluminação no posto de trabalho, na fase anterior foram identificadas duas causas raízes, sendo elas: definição do posicionamento das lâmpadas e dimensionamento das lâmpadas. Para eliminar as causas raízes a equipe do projeto definiu no plano de melhoria as seguintes ações: adequar à sistemática de posicionamento das lâmpadas sobre a bancada de inspeção e painel da máquina, adequar a sistemática de dimensionamento das lâmpadas, deixando a uma altura entre 2,5 e 3,0 metros sobre a bancada de inspeção e painel da máquina (Quadro 46).

Quadro 46 – Plano de melhoria para Iluminação

PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Iluminação						
Causa raiz:	Definição do posicionamento das lâmpadas / Dimensionamento das lâmpadas						
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	5W			2H		Status
		Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
adequar a sistemática de definição do posicionamento das lâmpadas sobre a máquina	para melhor iluminação da bancada	Manutenção	Everton (manutenção)	até 20/01/18	Instrução de trabalho	2 horas da manutenção	concluído
adequar a sistemática de dimensionamento das lâmpadas sobre a máquina	para melhor iluminação da bancada	Manutenção	Everton (manutenção)	até 20/01/18	Instrução de trabalho	2 horas da manutenção	concluído
Deixar as lâmpadas a uma altura entre 2,5 e 3,0 metros, posicionada sobre a bancada de inspeção e painel da máquina	para melhor iluminação da bancada	Na usinagem L1	Everton (manutenção)	até 20/01/18	removendo as luminárias	3 horas do electricista	concluído

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na fase anterior foi identificada a causa raiz sobremetal dos *blanks*, esta causa incorre em três efeitos, ou seja, afeta o consumo de energia elétrica, na geração de cavaco de usinagem e por fim no consumo de inserto de usinagem. Com base nesta causa a equipe propôs e implementou o plano de melhoria com as seguintes ações: adequar a sistemática de definição de sobremetal para a usinagem de desbaste, adequar o plano de usinagem da linha de desbaste e adequar a instrução da linha de desbaste com os campos de tolerâncias, Quadro 47.

Quadro 47 – Plano de melhoria para o consumo de energia elétrica, geração de cavaco e consumo de inserto de usinagem

PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Consumo de energia elétrica / Geração de resíduo de cavaco / Consumo de inserto						
Causa raiz:	Sobremetal nos blanks						
5W				2H			Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Adequar a sistemática de definição de sobremetal para o desbaste	Diminuir o sobremetal na usinagem final	Desenvolvimento de processos	Paulo (Desenvolvimento)	até 20/01/18	Instrução de trabalho	1 hora do desenvolvimento	concluído
Adequar o plano de usinagem da linha de desbaste	Diminuir o sobremetal na usinagem final	Desenvolvimento de processos	Paulo (Desenvolvimento)	até 20/01/18	plano de usinagem no sistema SAP	1 hora do desenvolvimento	concluído
Adequar o campo de tolerância para a linha de desbaste	Para não haver excesso de sobremetal	Desenvolvimento de processos	Paulo (Desenvolvimento)	até 20/01/18	Instrução de trabalho	1 hora do desenvolvimento	concluído

Fonte: Elaborado pelo autor.

A principal causa raiz identificada para perfurações das mãos com cavacos de usinagem identificada na fase anterior foi o manuseio inadequado do cavaco. Com base nesta causa raiz identificada, a equipe definiu e implementou o plano de melhoria com as ações: adequar a sistemática de manuseio de cavacos, entrega de luvas de vaqueta para limpeza e retirada do cavaco do equipamento, e por fim, posicionar a mangueira de óleo solúvel com o fluxo sobre a peça, afim de eliminar cavacos, o plano de melhoria pode ser visualizado no Quadro 48.

Quadro 48 – Plano de melhoria para perfurações com cavacos de usinagem

PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Perfurações com cavacos de usinagem						
Causa raiz:	manuseio inadequado do cavaco						
5W					2H		Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Adequar a sistemática de manuseio de cavacos	evitar perfurações das mãos em contato com o cavaco	Usinagem	Eduardo (usinagem) e João (segurança do trabalho)	até 20/01/18	Instrução de trabalho	5 horas da segurança do trabalho	concluído
Promover luvas de vaqueta para limpeza e retirada do cavaco do equipamento	evitar perfurações das mãos em contato com o cavaco	Usinagem	João (segurança do trabalho)	até 20/01/18	disponível no almoxarifado de EPI	R\$ 150,00	concluído
Posicionar o fluxo da mangueira de óleo solúvel direto sobre a peça	Para peça sair do equipamento sem cavaco	Usinagem	Preparadores de máquina	até 20/01/18	Instrução de trabalho	1 hora do planejamento da usinagem	concluído

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na fase anterior foi identificada como processo de usinagem dos *blanks* inadequado a principal causa raiz para os cortes nas mãos decorrentes de rebarbas no *blank*. Com base nessa causa raiz a equipe do projeto propôs e implementou um plano de melhoria com a ação de adequar os planos de usinagem das peças semiacabadas, arredondando os cantos vivos ou chanfrando com $0,2 \times 45^\circ$, este desdobramento da ação pode ser visualizado no Quadro 49.

Quadro 49 – Plano de melhoria para cortes com rebarbas no *blank*

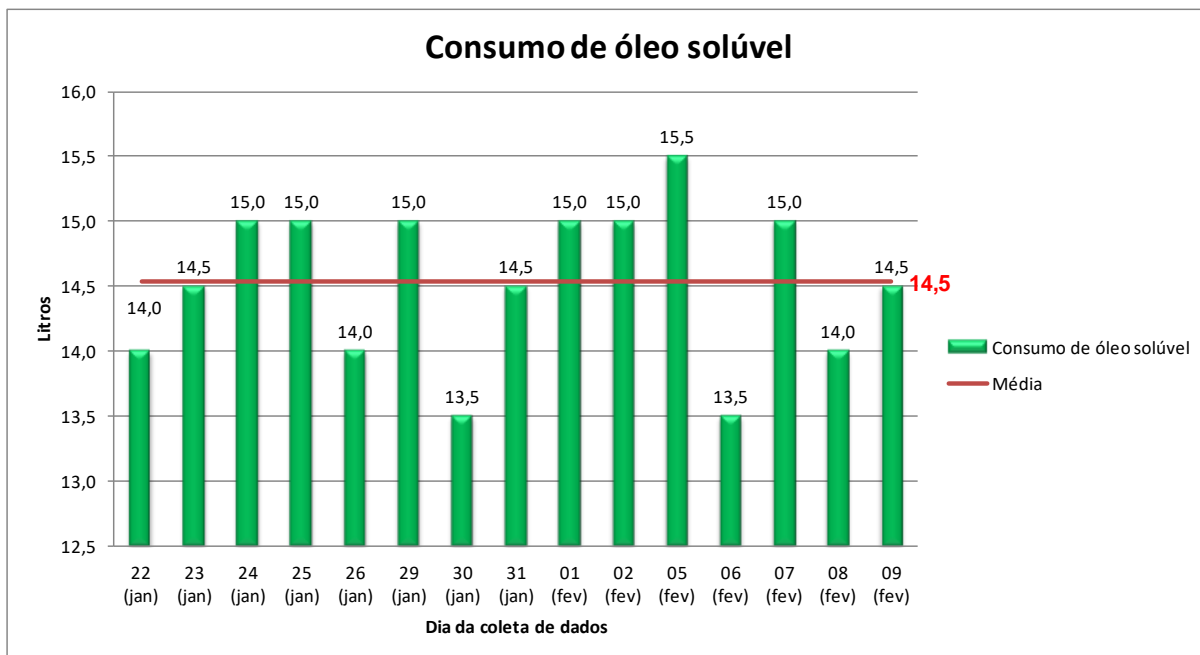
PLANO DE MELHORIA							
Problema:	Cortes com rebarbas no blank						
Causa raiz:	Processo de usinagem dos blanks						
5W					2H		Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Adequar os planos de usinagem das peças semi-acabadas com cantos vivos arredondados ou chanfrados com 0,5x45°	evitar acidentes provenientes de rebarbas / cantos vivos	Desenvolvimento de processos	Paulo (Desenvolvimento)	até 20/01/18	Instrução de trabalho	1 hora do desenvolvimento	concluído

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a implementação das ações propostas nos planos de melhorias foi necessário analisar a eficácia da implementação das ações, para isso, foi realizada uma nova coleta de dados baseada no plano de medição inicial, na mesma quantidade de dias, turnos e critérios.

Depois de definida a sistemática para decantação do cavaco, coletado o óleo solúvel e devolvido no equipamento, houve uma melhora significativa na redução do consumo de óleo solúvel no período analisado, de 18,8 litros na média para 14,5 litros, Gráfico 26.

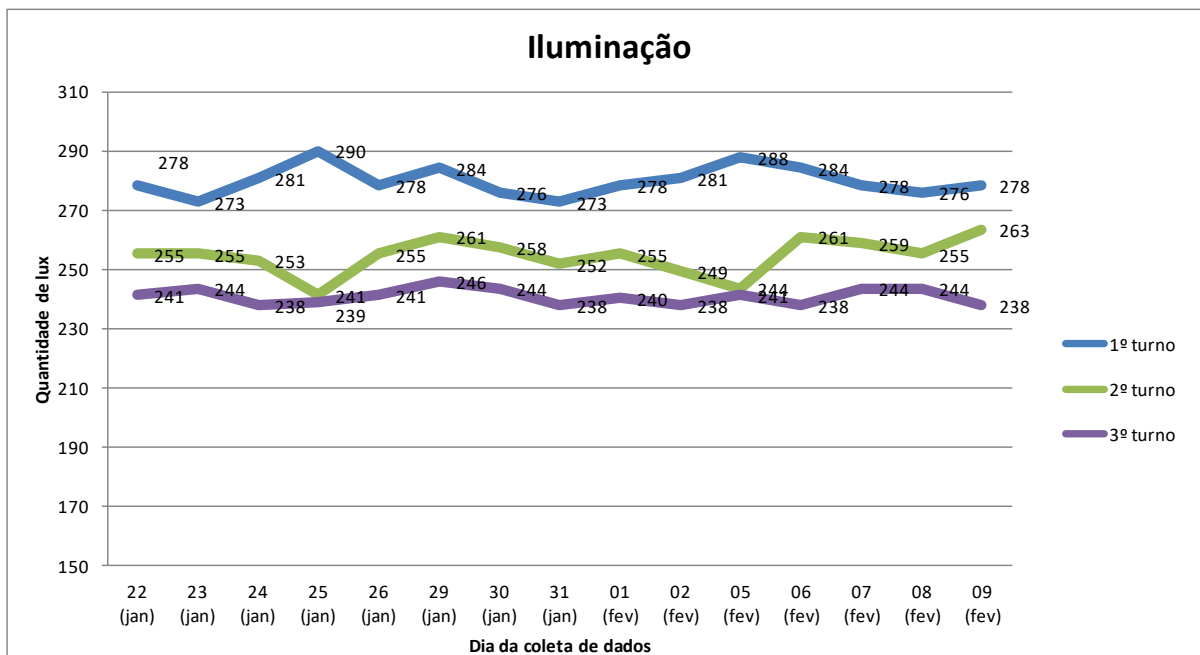
Gráfico 26 – Consumo de óleo solúvel



Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de implementadas as ações propostas para melhorar a iluminação no posto de trabalho foi medido no período de 22/01/18 à 09/02/18 e constatado que houve uma melhora significativa na iluminação, pois antes das melhorias o menor ponto encontrado foi 205 lux, após as melhorias o menor ponto foi de 238 lux (Gráfico 27).

Gráfico 27 – Iluminação



Fonte: Elaborado pelo autor.

No período de 22/01/18 à 09/02/18 foi realizada uma nova coleta de dados para avaliar a eficácia da implementação do plano de melhoria para reduzir o consumo de energia elétrica. Com base nos dados coletados é possível observar que houve uma redução de aproximadamente 3% no consumo de energia elétrica, de 168 kWh para 163 kWh (Gráfico 28). Com relação à melhoria da eficiência este ganho foi ainda maior, aproximadamente 10%, era produzido 66,9 peças por kWh e após as melhorias implementadas passou a produzir no período analisado 73,8 peças por kWh (Gráfico 29).

Gráfico 28 – Consumo de energia elétrica

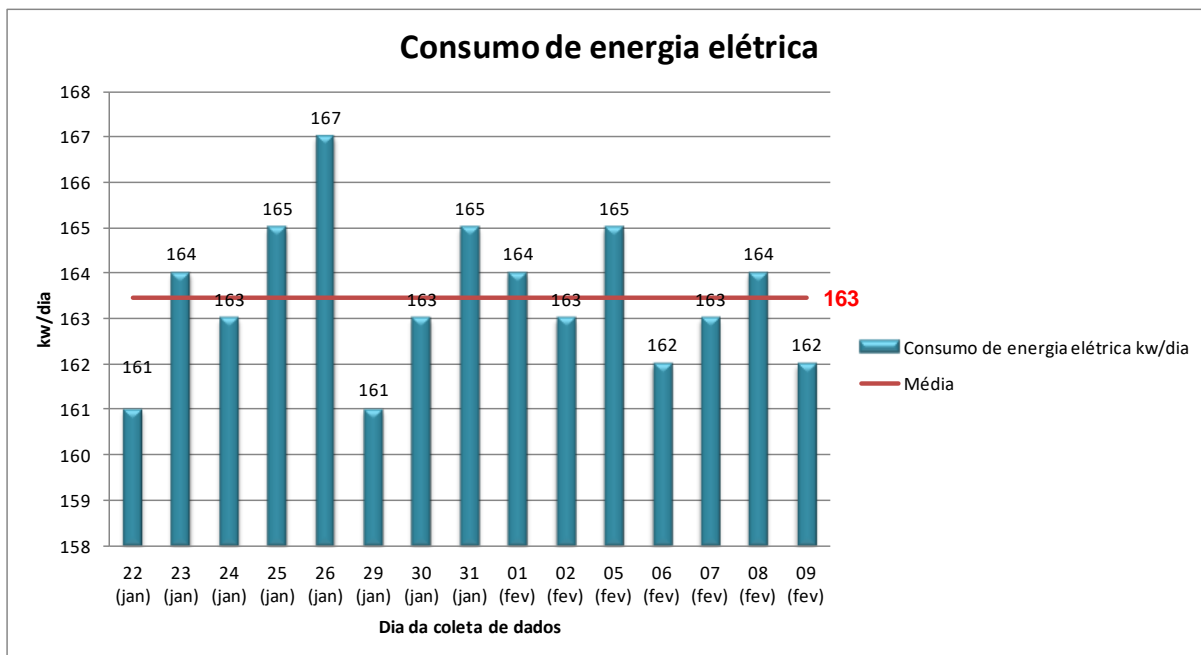
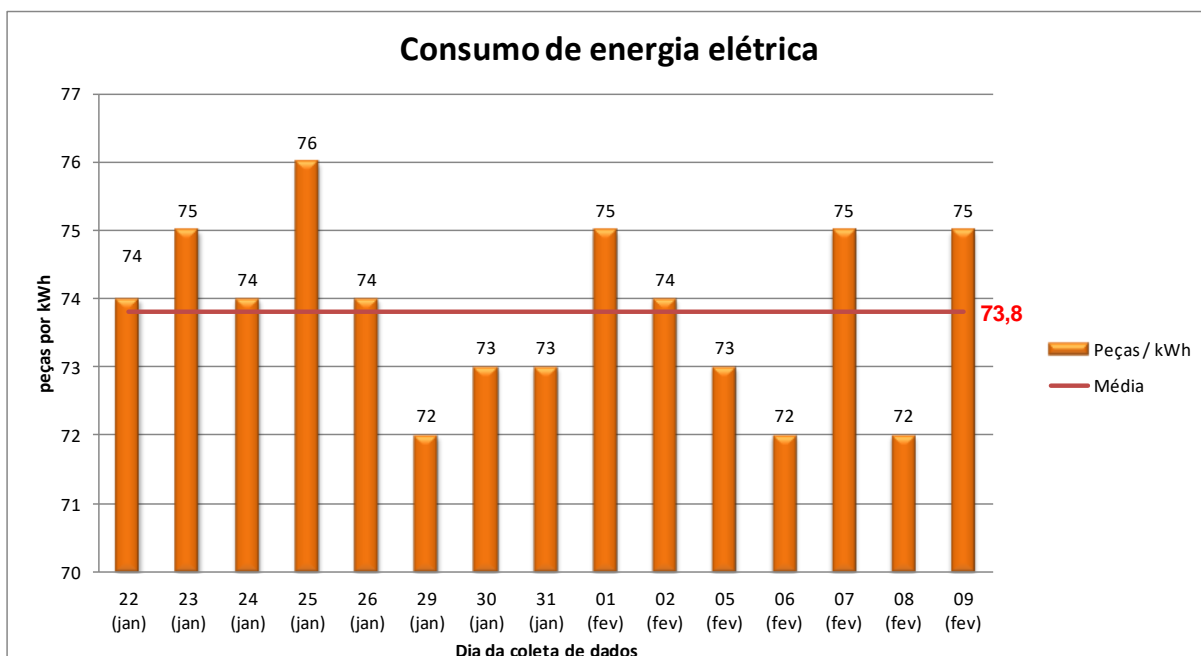


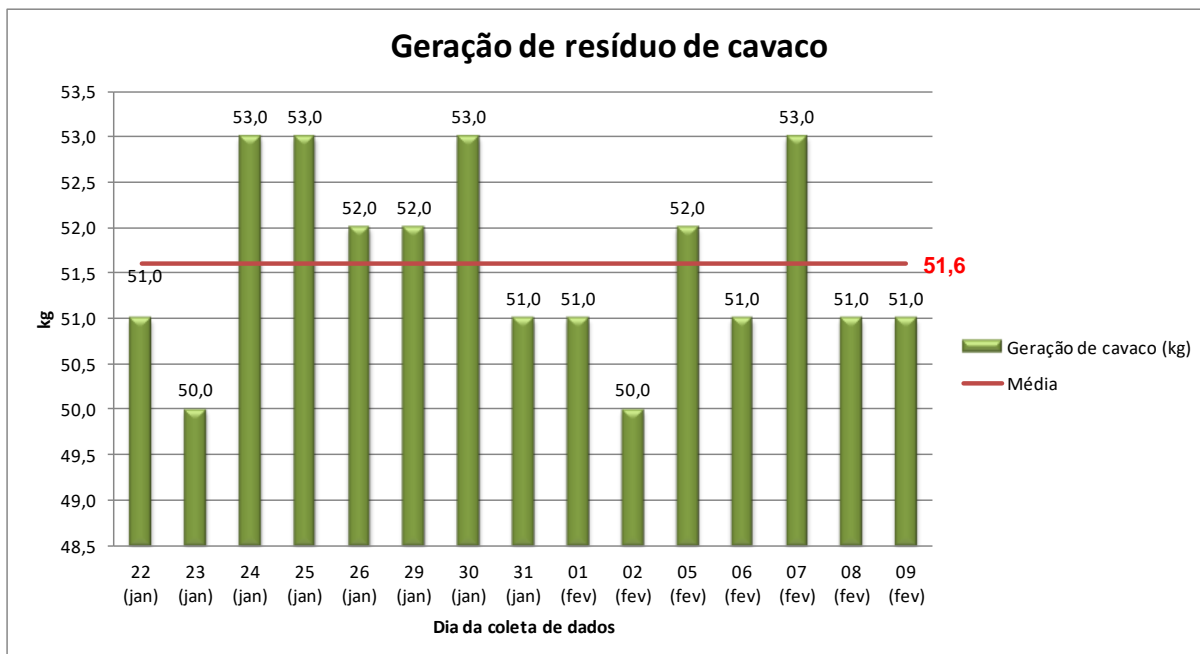
Gráfico 29 – Consumo de energia elétrica (peças / kWh)



A sistemática de definição de sobremetal inadequada gerava uma quantidade excessiva de cavacos durante o acabamento das peças, com a implementação das ações propostas no plano de melhoria foi possível notar no período analisado que

houve uma redução na geração de cavacos de usinagem, antes das melhorias eram gerados uma média de 62,7 quilos por dia, com as melhorias implementadas a redução foi de 17,7%, Gráfico 30.

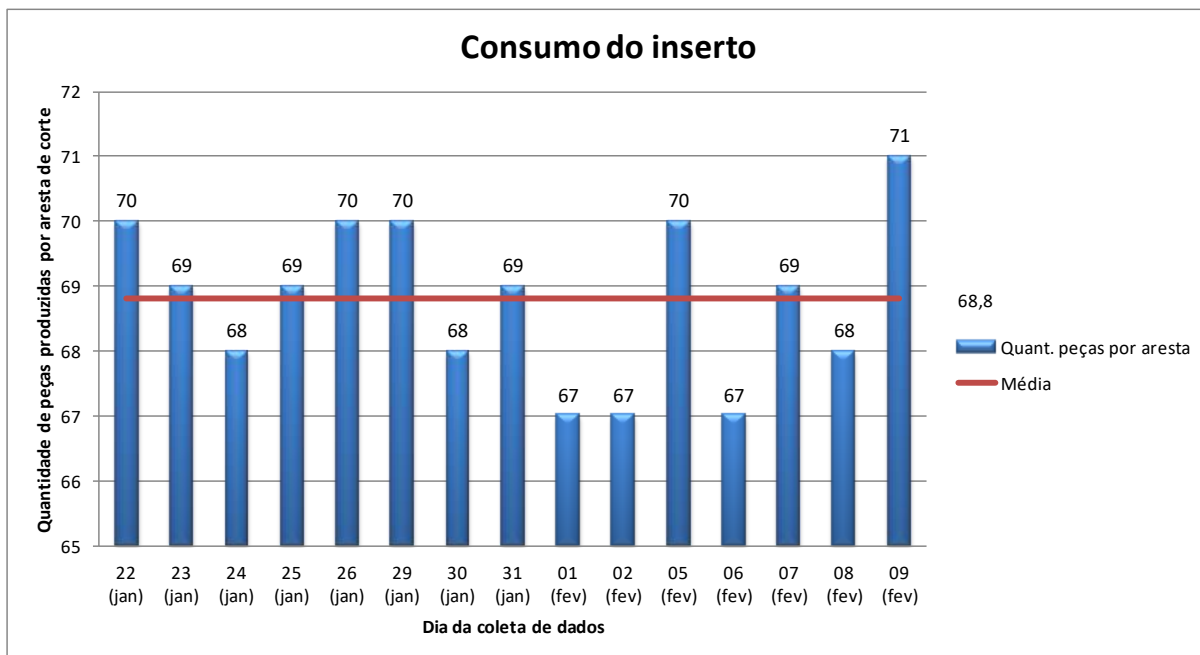
Gráfico 30 – Geração de resíduo de cavaco



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equipe identificou que o excesso de sobremetal no *blank* gerava maior consumo de inserto, após implementada as melhorias propostas, o consumo diminuiu na ordem de 17%, de 58,8 peças por aresta de corte para 68,8 peças por aresta de corte no período analisado, tal consumo, pode ser visualizado no Gráfico 31.

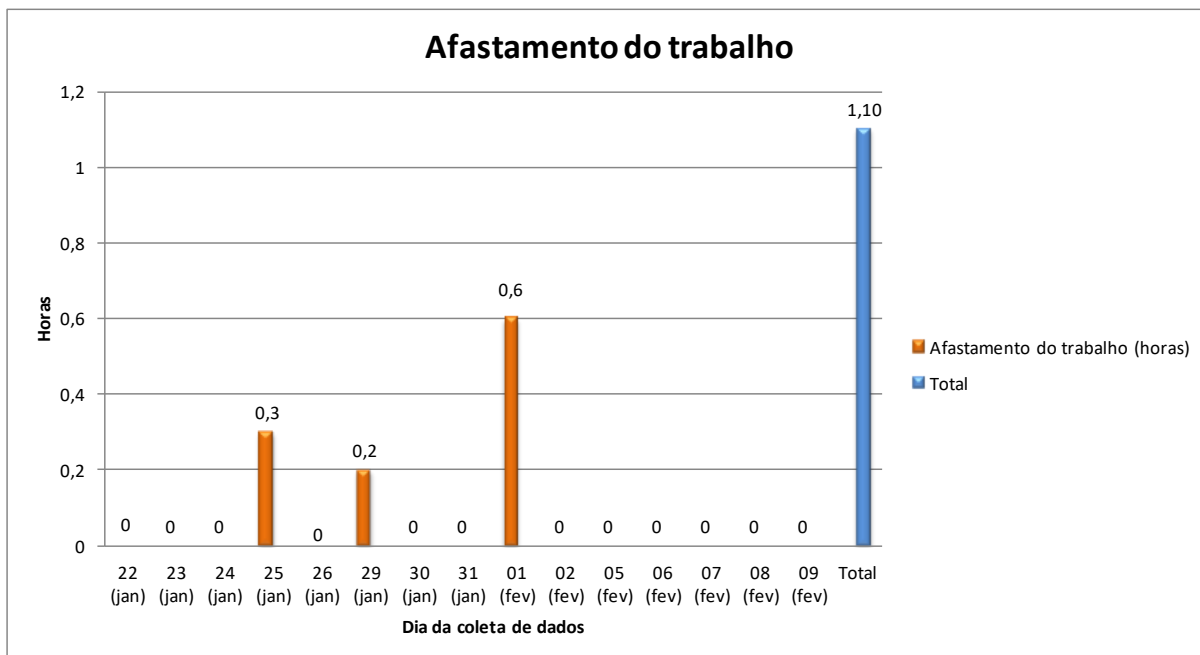
Gráfico 31 – Consumo de inserto de usinagem



Fonte: Elaborado pelo autor

Os pequenos acidentes gerados no posto de trabalho foram minimizados com as melhorias implementadas para evitar perfurações ou cortes das mãos com cavacos por meio da adequação da sistemática de manuseio do cavaco e também a adequação do processo de usinagem dos *blanks* com arredondamento ou chanfro nos cantos vivos. Com essas ações implementadas, foi possível observar no período analisado uma melhora significativa nos afastamentos por acidentes, diminuiu de 1,45 horas de afastamento para 1,1 horas no período analisado, Gráfico 32.

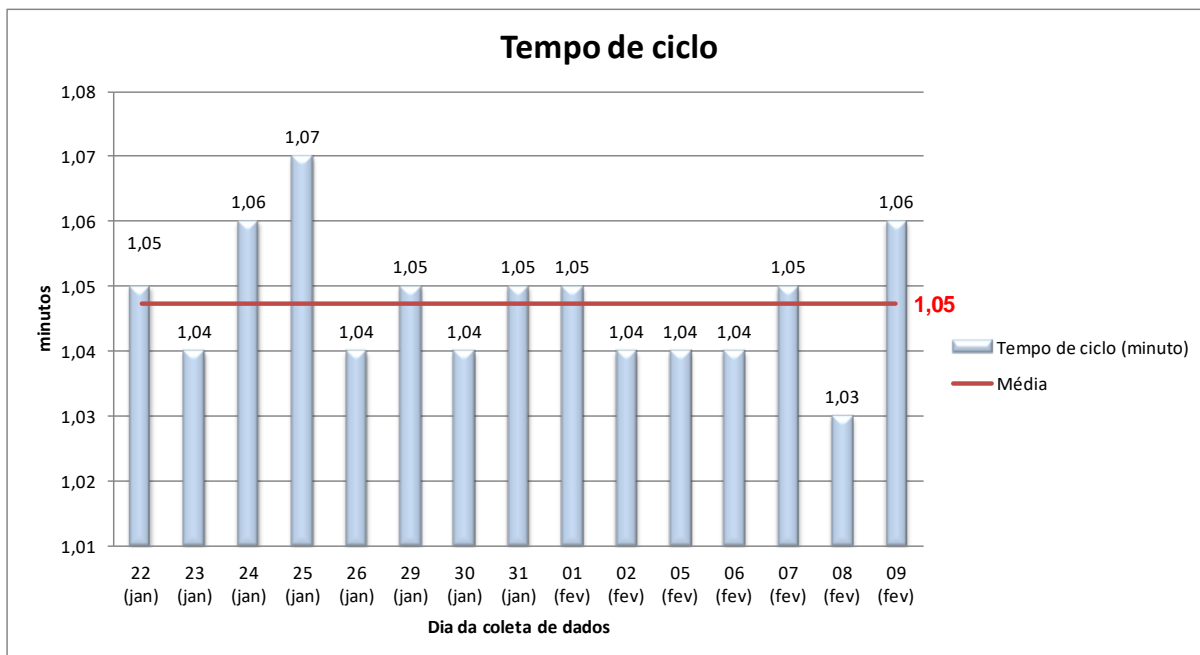
Gráfico 32 – Afastamento do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

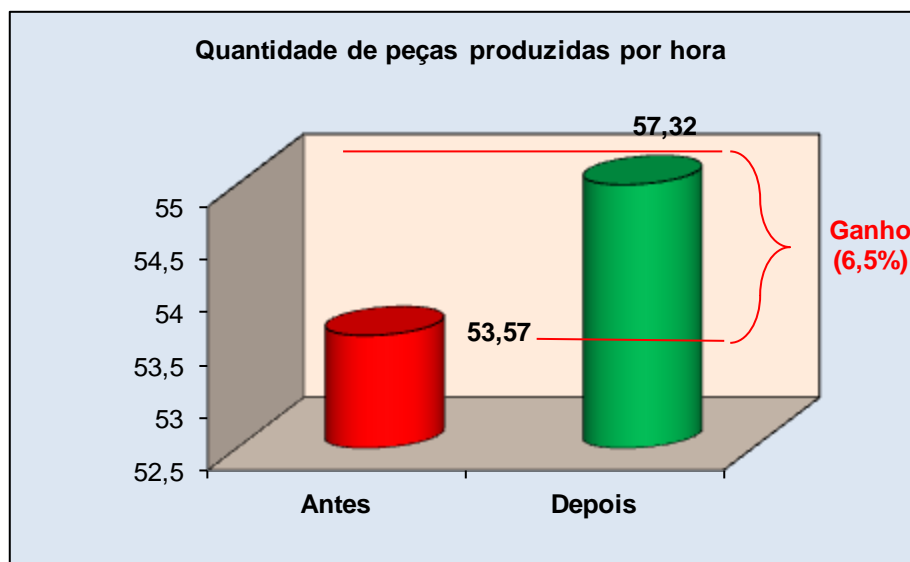
No ciclo 2 desta pesquisa-ação o foco dos planos de melhorias foram nas variáveis ambientais e sociais, porém foi avaliado se as ações implementadas contribuíam de alguma maneira na variável econômica. Com base nos dados coletados após as melhorias implementadas, foi possível observar uma melhora no tempo de ciclo do processo, antes das melhorias o tempo de ciclo era de 1,12 minutos, reduzido para 1,05 minutos, Gráfico 33. Em relação ao projeto Seis Sigma convencional a melhora do tempo de ciclo foi de aproximadamente 6,5%, Gráfico 34.

Gráfico 33 – Tempo de ciclo após Seis Sigma modificado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 34 – Quantidade de peças produzidas após projeto Seis Sigma modificado



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.5. Fase Controlar

O *Black Belt* do projeto Seis Sigma definiu nesta fase em conjunto com a equipe o plano de controle levando em consideração o projeto Seis Sigma modificado. O

objetivo deste plano de controle foi garantir que os resultados conquistados com o projeto Seis Sigma modificado se perpetue ao longo dos anos. O dono do processo (*Process Owner*) terá a responsabilidade de manter esses ganhos para o processo, para isso, deverá seguir o plano de controle detalhado no Quadro 73. Neste plano foram acrescentados após o ciclo 2 da pesquisa-ação mais 5 atividades que devem ser monitoradas pelo dono do processo (*Process Owner*). O *Black Belt* responsável pela implementação do projeto deverá auditar o projeto Seis Sigma modificado com base neste plano de controle pelo menos duas vezes no decorrer de 18 meses, e caso não estejam sendo alcançados os resultados esperados deverá intervir com a equipe.

Quadro 50 – Plano de controle após projeto Seis Sigma modificado

PLANO DE CONTROLE															
Atividade	Responsável	Frequência	2018												2019
			fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	
Monitorar os indicadores (Quantidade de peças semi-acabadas entregue em atraso, ocorrência de manutenção, Ajustes de setup durante a usinagem e % de peças não conforme.	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Avaliar a capacidade do processo (CP e CPK > 1,33).	Processos e produção Paulo e Eduardo	Trimestral	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manter estoque de óleo no almoxarifado.	Manutenção / Compras Everton e Juliana	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manter os lubrificadores treinados na ITMAM01 (Instrução sobre abastecimento de óleo das máquinas).	Marcos	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manter kit de ferramentas devidamente identificados no almoxarifado.	Produção Tiago	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manter os programas CNC's com a frequência definida para a troca do inserto.	Desenvolvimento de processos Paulo	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manter os operadores e preparadores treinados na ITUS07 (instrução sobre troca de inserto).	Produção Eduardo / Tiago	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitorar o consumo de óleo solúvel.	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitorar a iluminação no posto de trabalho.	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitorar o sobremetal dos blanks no recebimento.	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitorar os afastamentos do posto de trabalho por acidentes.	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitorar o tempo de ciclo.	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitorar o nível de sustentabilidade do processo	Process Owner (Eduardo)	mensal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Obs.: Esse plano de controle é de responsabilidade do Process Owner, todas as melhorias devem ser mantidas e monitoradas pelo Process Owner. Em caso de descumprimento o process owner deve procurar o Black belt para analisar as mudanças e comunicar o Sponsor. O Black belt deverá auditar o projeto com base neste plano de controle pelo menos duas vezes no período de 18 meses.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.6. Resultado do ciclo 2 da pesquisa-ação

Com a finalização do ciclo 2 da pesquisa-ação foi possível calcular o nível de sustentabilidade do processo baseado na proposta descrita no capítulo 3. A área do triângulo que representa o nível de sustentabilidade do processo pode ser visualizada na Figura 29. O ciclo 2 da pesquisa-ação foi focado nos aspectos ambientais e sociais, uma vez que, no ciclo 1 tratou diretamente o aspecto econômico.

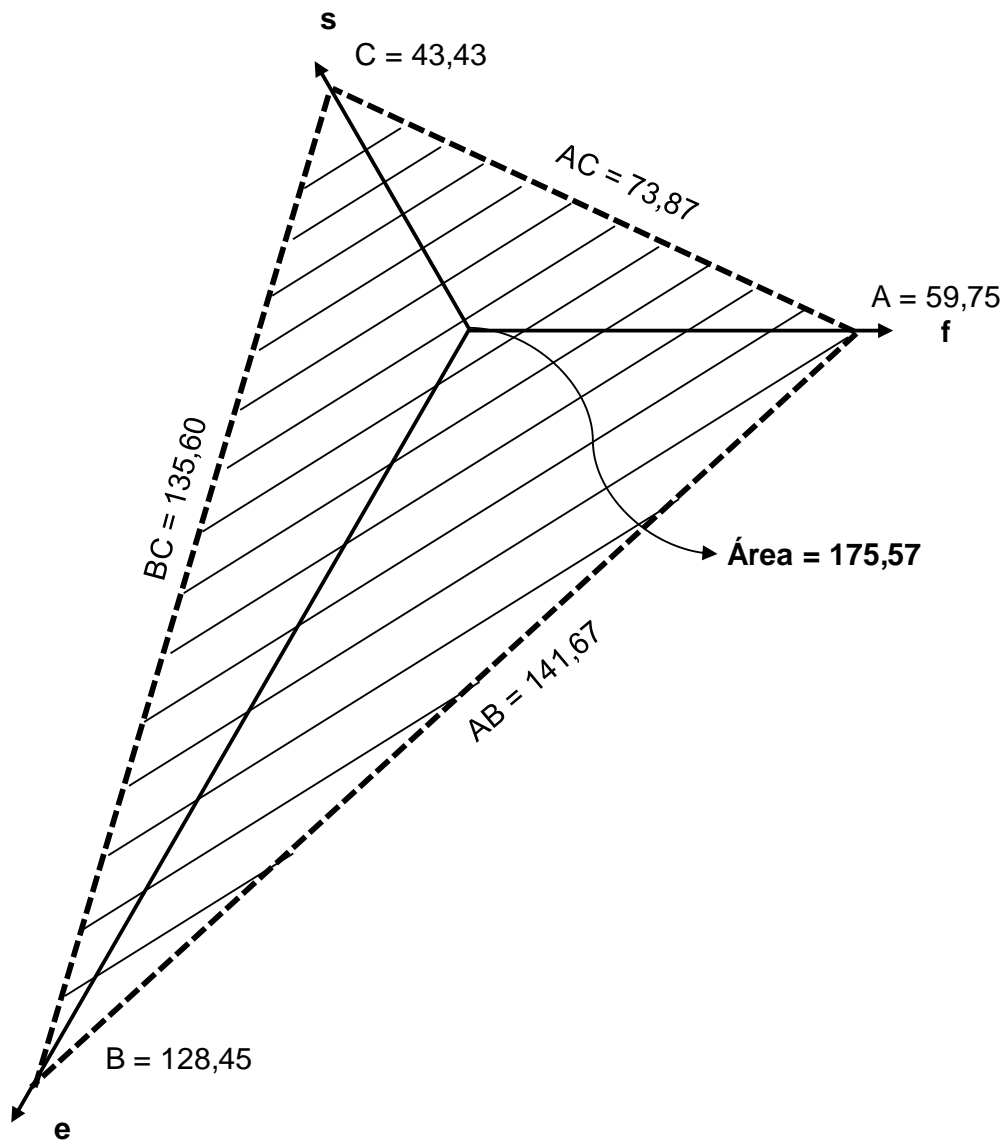
Com a implementação dos planos de melhorias propostos no projeto Seis Sigma modificado foi possível elevar o resultado da performance ambiental de 110,14 para 128,45, por volta de 17% de melhoria. Essa evolução da performance ambiental ocorreu em função do avanço na redução do sobremetal nos *blanks*, aumentando a quantidade de peças de 16,32 para 19,22 peças produzidas por quilo de cavaco gerado. Ainda, a quantidade de peças produzidas por aresta de inserto, evoluiu de 58,81 para 68,85 e a redução do sobremetal acabou por reduzir o consumo de energia elétrica, elevando a quantidade de 66,97 para 73,85 peças produzidas a cada 10kWh. Por fim, a ação implementada para a sistemática de decantação dos cavacos, contribuiu de forma significativa para a redução do consumo de óleo solúvel, aumentando a quantidade de peças produzidas por litro de óleo solúvel consumido, de 62,61 para 77,05 peças por litro.

Para o aspecto social, a implementação dos planos de melhorias propostos trouxe uma contribuição interessante para a performance social, de 41,42 para 43,43 ou seja uma melhoria por volta de 5%. Tal evolução no desempenho foi decorrente do aumento da iluminação no posto de trabalho, redução das horas perdidas por acidentes e do aumento das horas de treinamento por peças produzidas. A iluminação foi aprimorada por meio do reposicionamento das lâmpadas sobre as bancadas de trabalho. Com isso, a iluminação melhorou de 10,25 para 11,90. As horas perdidas com acidentes foi diminuída com as ações implementadas para evitar perfurações das mãos com cavacos e também com a melhoria do processo de desbaste dos *blanks*, evitando rebarbas. Com isso, a quantidade de peças por horas de afastamento aumentou de 11,63 para 16,41. Durante o projeto, a equipe tomou a decisão de não tomar ação sobre o ruído, uma vez que este estava atendendo o limite estabelecido e o equipamento já é enclausurado.

Depois de calculada as performances ambiental, econômica e social, foi possível calcular o comprimento de cada lado do triângulo. Para o lado dos aspectos ambiental e econômico (AB) houve uma melhora, de 123,49 para 141,67. O lado dos aspectos econômico e social (AC) uma evolução foi de 69,53 para 73,87. Por fim, o lado dos aspectos ambiental e social (BC) o progresso calculado foi de 117,67 para 135,60. Com os comprimentos para cada lado do triângulo definidos foi possível determinar o nível de sustentabilidade do processo, que neste caso foi de 175,57, um ganho de 13% em relação ao ciclo 1 da pesquisa-ação, em relação à aplicação do projeto Seis Sigma tradicional, que foi de 155,34. Na Tabela 6 é possível visualizar em detalhes o nível de sustentabilidade do processo no ciclo 2 da pesquisa-ação.

Com a aplicação do projeto Seis Sigma modificado foi possível perceber que além das melhorias geradas nos aspectos ambientais e sociais, o aspecto econômico também acabou tendo um impacto positivo, pois o custo da mão de obra que já havia sido melhorado no ciclo 1 da pesquisa-ação, no ciclo 2 foi ligeiramente aprimorado. Eram produzidas 15,78 peças a cada R\$10,00 de mão de obra que, após a implementação do projeto Seis Sigma modificado, passou para 16,88 peças produzidas a cada R\$10,00 de mão de obra. Além dessa melhoria, o tempo de ciclo também foi reduzido de 53,57 para 57,32 peças produzidas por hora. Essa redução foi decorrente das ações implementadas para o aspecto ambiental com foco na redução de cavacos, consumo de energia elétrica e consumo de inserto.

Figura 29 – Área do triângulo após Seis Sigma modificado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Sustentabilidade após o projeto Seis Sigma modificado

Aspectos	Indicadores	Valores	Performance	AB, AC, BC	Nível de sustentabilidade
Ambiental	e ₁ - geração de cavacos (peças / kg)	19,22	128,45	141,67	175,57
	e ₂ - consumo de óleo solúvel (peças / litros)	77,05			
	e ₃ - consumo de inserto de Usinagem (peças / arestas de corte)	68,85			
	e ₄ - consumo de energia elétrica (peças / 10 kwh)	73,85			
Econ.	f ₁ - tempo de ciclo (peças / hora)	57,32	59,75	73,87	
	F ₂ - custo da mão-de-obra (peças / R\$ 10,00)	16,88			
Social	s ₁ - nível de iluminação (lux real/lux padrão)x10	11,90	43,43	135,60	
	s ₂ - horas perdidas devido acidentes (peças / (hora x 10 ⁻³))	16,41			
	s ₃ - horas de treinamento (hora / (peça x 10 ⁻⁶))	35,79			
	s ₄ - nível de ruído ((dB padrão/dB atual) x10)	13,93			

Fonte: Empresa pesquisada.

5.3. Discussão

Depois de concluído o ciclo 2 da pesquisa-ação foi possível comparar a evolução do nível de sustentabilidade ao longo deste trabalho, como ilustra a Tabela 7. Inicialmente foi medido o nível de sustentabilidade de um processo de usinagem antes de qualquer ação. Foram medidos os aspectos ambientais, econômicos e sociais com base na proposta descrita no capítulo 3. Nesse contexto, o nível de sustentabilidade do processo foi de 147,27. Ressalte-se que esse resultado foi obtido sem realizar nenhum tipo de interferência, ou seja, sem a aplicação do projeto Seis Sigma, seja na sua forma tradicional ou modificada. Após a implementação do projeto Seis Sigma tradicional que teve por objetivo atuar sobre o aspecto econômico, foi medido novamente o nível de sustentabilidade do processo e percebeu-se que houve uma melhora de 5,5% (de 147,27 para 155,34). A performance econômica teve um ganho na ordem de 9,8% (de 50,86 para 55,85). Apesar de o projeto Seis Sigma tradicional ser focado apenas no aspecto

econômico, que de acordo com Erdil et al., (2018) tem sido o foco da maioria dos projetos, os aspectos ambiental e social tiveram também uma evolução em seu desempenho. O aspecto ambiental melhorou por volta de 5%, ou seja, de 104,84 para 110,14. O social também foi positivamente afetado em decorrência da aplicação do projeto Seis Sigma tradicional, passando de 41,14 para 41,42, uma pequena evolução de 0,6%. Foi possível ainda perceber que o projeto Seis Sigma aplicado da forma tradicional, mesmo focado no aspecto econômico, acabou por contribuir na melhoria dos aspectos ambiental e social, fazendo com que o nível de sustentabilidade do processo fosse positivamente impactado.

Tabela 7 - Evolução do nível de sustentabilidade

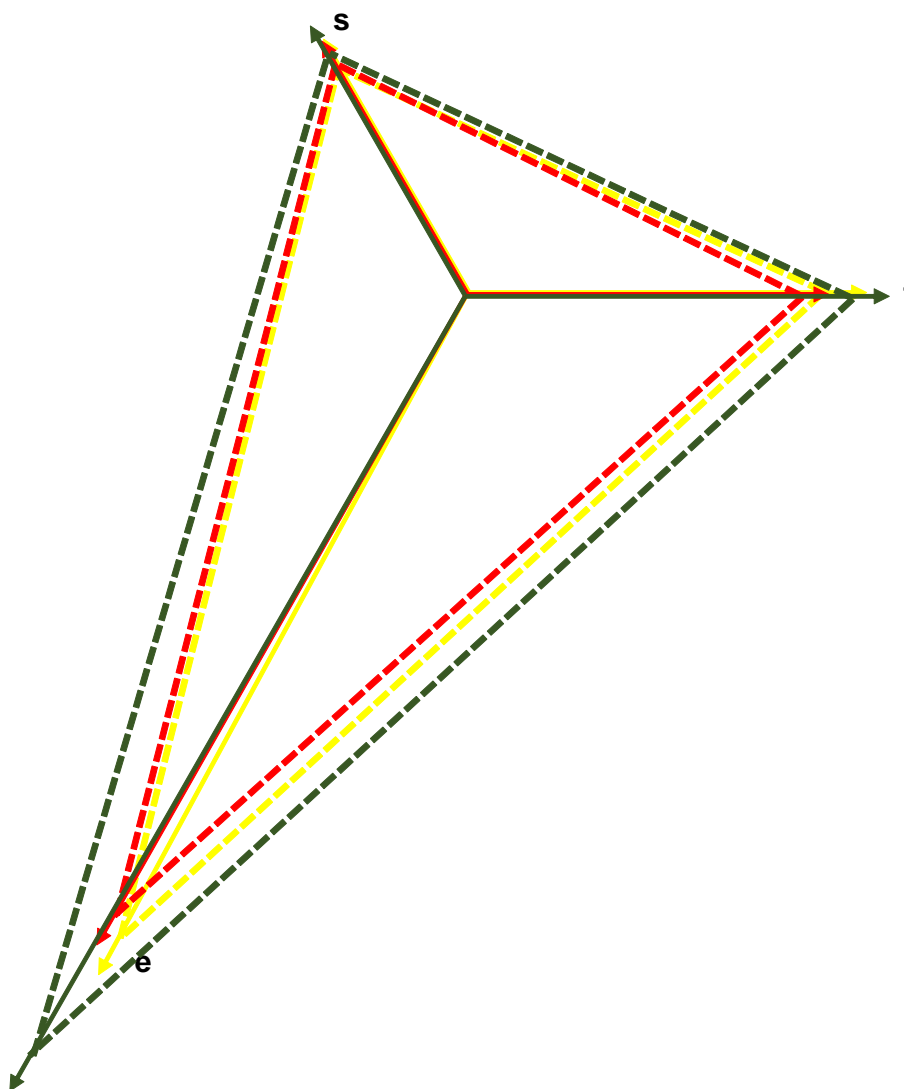
Aspecto	Antes do projeto Seis Sigma			Após projeto Seis Sigma tradicional			Após projeto Seis Sigma modificado		
	Perf. (Pi)	AB AC BC	Nível Sustent .	Perf. (Pi)	AB AC BC	Nível Sustent .	Perf. (Pi)	AB AC BC	Nível Sustent .
Ambiental	104,84	116,52	147,27	110,14	123,49	155,34	128,45	141,67	175,57
Econômica	50,86	65,41		55,85	69,53		59,75	73,87	
Social	41,14	112,62		41,42	117,67		43,43	135,60	

Fonte: Empresa pesquisada.

Comparando o nível de sustentabilidade do processo após a implementação do projeto Seis Sigma modificado, foi possível notar que o nível de sustentabilidade aumentou de 155,34 para 175,57, um crescimento na ordem de 13%, como mostra a Tabela 7. Nesse progresso do nível de sustentabilidade do processo foi possível observar que a performance do aspecto ambiental melhorou de 110,14 para 128,45, a social de 41,42 para 43,43 e a performance econômica de 55,85 para 59,75. Se comparado à evolução antes da aplicação do projeto Seis Sigma tradicional com os resultados alcançados após a aplicação projeto Seis Sigma modificado, o ganho no nível de sustentabilidade do processo foi significativo, na ordem de 19%, de 147,27 para 175,57. A performance do aspecto ambiental melhorou em 22,5%, de 104,84 para 128,45, a do econômico cresceu em 17%, de 50,86 para 59,75, e por fim, a performance do aspecto social teve 5,5% de melhoria, de 41,14 para 43,43. Ainda, é possível perceber na Figura 30 a diferença das áreas dos triângulos se comparados

antes da aplicação do Seis Sigma tradicional (em vermelho), após o Seis Sigma tradicional (em amarelo) e depois do Seis Sigma modificado (em verde), representando o nível de sustentabilidade do processo em cada fase. Neste contexto, esse indicador único possibilita atender a necessidade dos gestores que segundo Jung et al., (2013); Subic et al., (2013) e Shankar et al., (2016) necessitam dispor de ferramentas que permitam a eles avaliar como suas ações gerenciais estão contribuindo para a melhoria do *triple bottom line* das suas respectivas empresas.

Figura 30 – Comparação das áreas dos triângulos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na análise dos resultados apresentados à medida que o estudo foi sendo realizado, foi possível concluir que o projeto Seis Sigma modificado, ou seja, a técnica Seis Sigma integrada com os aspectos ambiental e social de fato provoca um ganho efetivo no nível de sustentabilidade do processo e, por consequência, no da empresa como o todo, quando comparado à versão tradicional daquela técnica. Essa integração da técnica Seis Sigma com as variáveis ambientais e sociais pode contribuir com a mudança do cenário que de acordo com Erdil et al., (2018) as aplicações dos projetos Seis Sigma têm sido focadas sobre as variáveis dos processos, de tal forma, que não é dada uma ênfase sobre as questões ambientais e sociais

É evidente que a técnica Seis Sigma tradicional por si só traz uma contribuição positiva para o nível de sustentabilidade do processo, que corrobora com a asserção apontada por Freitas e Costa (2017), contudo, isso acontece em consequência de ações tomadas na dimensão econômica que podem refletir nas dimensões social e ambiental. A técnica Seis Sigma integrada com as variáveis ambientais e sociais faz com que a equipe do projeto foque, além da dimensão econômica, nas dimensões ambiental e social, de forma que sejam todas melhoradas por ações deliberadas em cada uma e não por consequência de alterações em uma única dessas dimensões. De forma geral, este trabalho contribuiu para área de conhecimento e a área prática da Engenharia de Produção e Gestão de Operações com a aplicação do modelo de integração da técnica Seis Sigma com as variáveis ambientais e sociais a situação do mundo real.

6. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

O objetivo geral dessa tese foi integrar a técnica Seis Sigma (DMAIC) com as variáveis sociais e ambientais com foco na melhoria do nível de sustentabilidade de um processo industrial. O presente trabalho foi motivado por duas oportunidades identificadas na literatura, que mostraram praticamente a inexistência de iniciativas que tragam uma visão prática da contribuição da técnica Seis Sigma para a melhoria do nível de sustentabilidade do processo, principalmente no contexto da manufatura. Por fim, também identificou-se a inexistência de uma proposta para medição do nível de sustentabilidade de um processo industrial que integrasse em uma única grandeza as três dimensões do *triple bottom line* (ambiental, econômico e social).

Para atingir o propósito desta tese foi necessário identificar as dimensões teóricas relevantes na literatura a serem consideradas na sustentabilidade, propor uma forma para medir o nível de sustentabilidade de um processo industrial, identificar as fases de integração das variáveis ambientais e sociais dentro da técnica Seis Sigma, especificamente no DMAIC, estabelecer um modelo que integrasse as variáveis ambientais e sociais no DMAIC, e por fim, realizar uma pesquisa de campo por meio da pesquisa-ação em uma indústria do setor metal mecânico com o objetivo de verificar a aplicabilidade do modelo proposto à situações do mundo real.

Na implementação do modelo proposto foi possível observar que a integração das variáveis ambientais e sociais à técnica Seis Sigma (DMAIC) não afetou o tempo de aplicação do projeto no processo produtivo, uma vez que este ficou por volta de 5 meses, que é o tempo médio de projetos tradicionais aplicados no processo produtivo. Vale observar, que antes da aplicação do projeto Seis Sigma tradicional foi medido o nível de sustentabilidade que o processo em estudo se encontrava, e se pode notar que ele havia sido alterado em função das melhorias introduzidas. Assim, foi possível concluir que o fato de implementar o projeto Seis Sigma tradicional por si só traz uma pequena contribuição para a melhoria do nível de sustentabilidade do processo industrial. Após foi feita a aplicação do projeto Seis Sigma modificado na qual foi possível perceber, que ele traz uma contribuição mais significativa na melhoria da sustentabilidade do processo produtivo.

De fato, a aplicação deste modelo proposto traz algumas contribuições tanto para o campo de conhecimento como para a prática gerencial da Engenharia de

Produção e Gestão de Operações. Como ganhos para área de conhecimento pode-se destacar que a integração das variáveis ambientais e sociais à técnica Seis Sigma (DMAIC) adicionou conhecimentos à literatura na medida em que tal abordagem era inédita até então. Para o campo prático esta tese traz duas contribuições: como primeira o fato da possibilidade de os gestores da área produtiva poderem medir o nível de sustentabilidade dos seus respectivos processos de produção por meio de uma única grandeza. Como segunda contribuição, mas não menos importante, destaque-se o fato da aplicação do modelo aqui proposto gerar ganhos econômicos, ambientais e também sociais decorrentes da aplicação de projeto Seis Sigma (DMAIC) integrado às variáveis ambientais e sociais.

Como toda pesquisa, esta também tem algumas limitações. Inicialmente cite-se a impossibilidade de se generalizar os resultados alcançados por meio da aplicação do modelo proposto, uma vez que foi possível aplicar em apenas um processo produtivo, neste caso, um processo de usinagem. Como recomendação, sugere-se trabalhos futuros nos quais seja possível aplicar o modelo aqui proposto em outros tipos de processos, sejam de manufatura ou não, com o objetivo de avaliar os a confirmação dos resultados aqui alcançados e, se for caso, aperfeiçoar o modelo.

Finalizando, é importante ressaltar que o *Black Belt* do projeto deve buscar com a equipe o equilíbrio nas melhorias realizadas em direção dos aspectos ambientais, econômicos e sociais, com propósito de não realizar apenas melhorias em direção de um aspecto da sustentabilidade e afetar outro aspecto de forma significativa.

REFERÊNCIAS

AHI, P.; SEARCY, C.; JABER, M. Y. A quantitative approach for assessing sustainability performance of corporations. **Ecological Economics**, vol. 152, p. 336-346, 2018.

ANTONY, J. Six sigma for service processes. **Business Process Management**, v. 12, p. 234-248, Emerald Group Publishing Limited, Division of Management, Caledonian Business School, Glasgow Caledonian University, Glasgow, Scotland, UK, 2006.

ARAUJO, J. B.: **Desenvolvimento de Métodos de Avaliação de Desempenho de Processos de Manufatura Considerando Parâmetros de Sustentabilidade**. 2010. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de pós Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

ARNDT, M., 2002. **Quality isn't just for widgets**. Business Week, 72 (July 22).

ARUMUGAM, V.; ANTONY, J.; LINDERMAN, K. The influence of challenging goals and structured method on Six Sigma project performance: A mediated moderation analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 254, n. 1, p. 202-213, 2016.

AZAPAGIC A.; Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. **Journal of Cleaner Production**, vol. 12, p.639-662, 2004.

BARBIERI, J. C.; VASCONCELOS, I. F. G.; ANDREASSI, T.; VASCONCELOS, F. C. Inovação e sustentabilidade: Novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, vol. 50, n. 2, p. 146-154, abr/jun., 2010.

BASTAS, A., LIYANAGE, K.. Sustainable supply chain quality management: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, vol. 181, p.726-744, 2018.

BEEKAROO, D.; CALLYCHURN, D. S.; HURREERAM, D. K. Developing a sustainability index for Mauritian manufacturing companies. **Ecological Indicators**. vol.96, p. 250-257, 2019.

BHAKAR, V.; DIGALWAR, A. K.; SANGWAN, K. S. Sustainability assessment framework for manufacturing sector: a conceptual model. **CIRP**, vol.69, p. 248-253, 2018.

CALIA, R. C.; GUERRINI, F. M.; CASTRO, M. The impact of Six Sigma in the performance of a pollution prevention program. **Journal of Cleaner Production**, vol. 17, n. 1, p. 1303-1310, 2009.

CAUCHICK MIGUEL, P. Aspectos relevantes no uso da pesquisa-ação na engenharia de produção. **Exacta**. vol. 9, n. 1, p. 59-70, 2011.

CHAKRABARTY, A.; TAN, K.C. The current state of Six Sigma application in services. **Managing Service Quality**, vol. 17, n. 2, p. 194-208, 2007.

CHANG, A.; CHENG, Y. Analysis model of the sustainability development of manufacturing small and medium sized enterprises in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, vol. 207, p. 458-473, 2019.

CHERRAFI, A.; ELFEZAZI, S.; CHIARINI, A.; MOKHLIS, A.; BENHIDA, K. The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: a literature review and future research directions for developing a specific model. **Journal of Cleaner Production**. vol.139, p. 828-846, 2016.

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action Research: Action Research for Operations management. **International Journal of Operation & Production Management**, vol. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

CRUZ, L. B.; BOEHE, D. M. How do Leading Retail MNCs Leverage CSR Globally? Insights from Brazil. **Journal of Business Ethics**, vol. 91 p. 243-263, 2010.

DOŤEKALOVÁ, M. P.; KOČMANOVÁ, A. Composite indicator for measuring corporate sustainability. **Ecological Indicators**, vol. xxx, p. xxx, 2015.

ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma: O Método que Levou a GE e Outras Empresas a Transformar Processos em Lucro**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks: The triple bottom Line of 21st century business**. New Society Publishers. Gabriola Island BC: Canada, 1998.

ERDIL, N. O. AKTAS, C. B. ARANI, O. M. Embedding sustainability in Lean Six Sigma efforts. **Journal of Cleaner Production**. vol.198, p. 520-529, 2018.

SUJOVA, A. SIMANOVA, L. MARCINEKOVA. Sustainable Process Performance by Application of Six Sigma Concepts: The Research Study of Two Industrial Cases. **Sustainability**. vol.8, p. 260, 2016.

FIKSEL, J.; MCDANIEL, J.; MENDENHALL, C. **Measuring Progress Towards Sustainability Principles, Process and Best Practices**. Ohio: Battelle Memorial Institute, 1999.

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

GARCIA, S.; CINTRA, Y.; TORRES, R.; LIMA, F.G. Corporate sustainability management: a proposed multi-criteria model to support balanced decision making. **Journal of Cleaner Production**. vol.136, p. 136-181, 2016.

GARZA-REYES, J. A. Green Lean and the need for Six Sigma. **International journal of Lean Six Sigma**. vol.6, n.3, p. 226-248, 2015.

GEORGE, M. L.; **Lean Seis Sigma para Serviços**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

GERBENS-LEENS P. W.; MOLL H. C.; UITERKAMP A. J. M. Design and development of a measuring method for environmental sustainability in food production systems. **Ecological Economics**, vol. 46, p. 231-248, 2003.

GLAVIC, P.; LUKMAN, R. Review of Sustainability Terms and their Definitions. **Journal of Cleaner Production**, vol. 15, p. 1875-1885, 2007.

GOH, T. N.; XIE, M. Improving on the Six Sigma paradigm. **Total Quality Management**, vol. 16, n. 4, p. 235-40, 2004.

GRI. Global Reporting Initiative. A new phase: **The Growth of Sustainability Reporting**. GRI's Year in Review, 2011.

GRI. Global Reporting Initiative. G4: **Sustainability Reporting Guideline**. GRI, 2013.

HASHEMINASAB, H.; GHOLIPOUR, Y.; KHARRAZI, M.; STREIMIKIENE, D. A novel metric of sustainability for petroleum refinery projects. **Journal of Cleaner Production**, vol. 171, p. 1215-1224, 2018.

INSTITUTO ETHOS. **Indicadores Ethos para Negócios Sustentáveis e Responsáveis**, 2017.

INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. **The Sustainability Metrics: Sustainable Development Progress Metrics Recommended for Use in the process industries**, 2002.

HAHN, T.; FIGGE, F. Beyond the bounded instrumentality in current corporate sustainability research: Toward an inclusive notion of profitability. **Journal of Business Ethics**, vol. 101, p. 1-21, 2011.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. New York: Doubleday, 2000.

HILTON, R. J.; SOHAL, A. A Conceptual Model for the Successful Deployment of Lean Six Sigma. **International Journal of Quality & Reliability Management**, vol. 29, n. 1, p. 54-70, 2012.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. Prentice-Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 1998.

JUNG, C.B.; CARREL, J.; SARKAR, P.; FENG, S.C. Categorization of indicators for sustainable manufacturing. **Ecological Indicators**, vol. 24, p. 148-157, 2013.

KOCMANOVA, A., DOČEKALOVA, M. Construction of the economic indicators of performance in relation to environmental, social and corporate governance (ESG) factors. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, vol. Lx, n. 4, p. 00-00, 2012,

LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A. C.; ERCK; V. Assessing the Sustainability Performance of Industries. **Journal of Cleaner Production**, vol. 13, p. 373-385, 2005.

LATIF, H. H.; GOPALAKRISHNAN, B.; NIMBARTE, A.; CURRIE, K. Sustainability index development for manufacturing industry. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**. vol.xxx, p. xxx, 2017.

LEONETI A.; NIRAZAWA A.; OLIVEIRA S. Proposal of sustainability index as a self-assessment tool for micro and small enterprises (MSEs). **REGE - Revista de Gestão**, 2016.

LINNENLUECKE, M. K.; GRIFFITHS, A. Corporate sustainability and organizational culture. **Journal of World Business**, vol. 45, n. 4, p. 357-66, 2010.

LONG, Y.; PAN, J.; FAROOQ, S.; BOER, H. A sustainability assessment system for Chinese iron and steel firms. **Journal of Cleaner Production**, vol. xxx, p. 1-12, 2016.

MCADAM, R.; EVANS, A. Challenges to Six Sigma in a high technology mass manufacturing environments. **Total Quality Management**, vol. 15 n. 5, p. 699-706, 2004.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F.; CAMPOS, D. F. Pesquisa-ação na engenharia da produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, vol. 22, n. 1, p. 1-13, 2012.

NAIR, A.; MALHOTRA, M. K.; AHIRE, S. L. Toward a theory of managing context in Six Sigma process-improvement projects: An action research investigation. **Journal of Operations Management**, vol. 29, p. 529–548, 2011.

NEUGEBUER S.; BLANCO J. M.; SCHEUMANN R.; FINKBEINER M. Enhancing the practical implementation of life cycle sustainability assessment e proposal of a Tiered approach. **Journal of Cleaner Production**, vol. 102, p. 165-176, 2015.

NIKOLAOU I. E.; TSALIS T. A. Development of a sustainable balanced scorecard framework. **Ecological Indicators**, vol. 34, p. 76-86, 2013.

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

PARAST, M. M. The effect of Six Sigma projects on innovation and firm performance. **International Journal of Project Management**, vol. 29, p. 45-55, 2011.

PFEIFER, T.; REISSIGER, W.; CANALES, C. Integrating Six Sigma with Quality Management Systems, **Total Quality Management**, vol. 16, p. 241-249, 2004.

PHENG, L.S.; HUI, M.S. Implementing and applying Six Sigma in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol. 130, n. 4, p. 482-9, 2004.

PYZDEK, T.: **The Six Sigma Handbook: A complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels.** New York: McGraw-Hill, 2003.

RAJEEV, A., PATI, R.K., PADHI, S.S., GOVINDAN, K. Evolution of sustainability in supply chain management: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, vol. 162, p. 299-314, 2017.

REASON, P.; BRADBURY, H. **Handbook of action research participative inquiry and practice.** Thousand Oaks: Sage, 2001.

ROTONDARO, R. G.; RAMOS, A. W.; RIBEIRO, C. O.; MIYAKE, D. I.; NAKANO, D.; LAURINDO, F. J. B.; HO, L. L.; CARVALHO, M. M.; BRAZ, M. A.; BALESTRASSI, P. P. Seis Sigma. **Estratégia Gerencial para Melhoria de Processos, Produtos e Serviços.** 1ª edição. São Paulo: Atlas, 2010.

SAMUEL V. B.; AGAMUTHU P.; HASHIM M. A. Indicators for assessment of sustainable production: A case study of the petrochemical industry in Malaysia. **Ecological Indicators**, vol. 24, p. 392-402, 2012.

SANTOS, J. C. S.; LUCATO, W. C.; PACCHINI, A. P. T. Measuring the sustainability of a manufacturing process: A conceptual framework. **Sustainability**, vol. 10, p. 81-92, 2018.

SCHROEDER, R.G.; LINDERMAN, K.; LIEDTKE, C.; CHOO, A.S. Six sigma: definition and underlying theory. **Journal of Operations Management**. vol. 26, p. 536–554, 2008.

SCHWAB, D. P.: **Research methods for organizational studies.** London: Routledge, 2005.

SILVA, J. O.; ROCHA, I.; WIENHAGE, P.; RAUSCH, R. B. Gestão Ambiental: Uma análise da evidenciação das empresas que compõem o Índice de sustentabilidade empresarial (ISE). **Revista de Gestão Social e Ambiental – RGSA**, vol. 3, n.3, p. 56-71, 2009.

SIN, A. B.; ZAILANI, S.; IRANMANESH, M.; RAMAYAH, T. Structural equation modelling on knowledge creation in six sigma dmaic project and its impact on organizational performance. **International Journal of Production Economics**, vol. 168, p. 105-117, 2015.

SHANKAR, K.M.; KUMAR, P.U.; KANNAN, D. Analyzing the Drivers of Advanced Sustainable Manufacturing System Using AHP Approach. **Sustainability**, vol. 8, p. 824-834, 2016.

SLACK, N. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1999

STOYCHEVA, S.; MARCHESE, D.; PAUL, C.; PADOAN, S.; JUHMANI, A.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis framework for sustainable manufacturing in automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, vol.187, p. 257-272, 2018.

SUBIC, A.; SHABANI, B.; HEDAYATI, M.; CROSSIN, E. Performance Analysis of the Capability Assessment Tool for Sustainable Manufacturing. **Sustainability**, vol. 5, p. 3543-3561, 2013.

TACHIZAWA, T. **Gestão Ambiental e Responsabilidade Social Corporativa: Estratégias de negócios focadas na realidade brasileira**. São Paulo: Atlas, 2010.

TAKAHASHI, I. D. S. Sustainability measurement system: a reference model proposal. **Social Responsibility Journal**. vol.7, n.3, p. 438-471, 2011.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2007.

TINOCO, J. E. P. **Balanco Social e o Relatório da Sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2010.

TSENG, M.L., DEVINAGRACIA, L., DEVINAGRACIA, R. Evaluating firm's sustainable production indicators in uncertainty. **Computers & Industrial Engineering**, vol. 57, p. 1393-1403, 2009.

TUSSY, A.S.; GUSTAFSON, R.D. **Basic geometry for college students**: An overview of the fundamental concepts of geometry. Belmont, CA: Books/Cole, 2010.

VELEVA V. A.; ELLENBECKER M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, vol. 9, p. 519-549, 2001.

VELEVA V. A.; HART M.; GREINER T.; CRUMBLEY C. Indicators of sustainable production. **Journal of Cleaner Production**, vol. 9, p. 447-452, 2001.

VITAL, J. T.; CAVALCANTI, M. M.; DALLÓ, S.; MORITZ, G. O.; COSTA, A. M. A influência da Participação no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) no Desempenho Financeiro das Empresas. **Revista de Ciências da Administração**, vol. 11, n. 24, p. 11-40, maio/ago., 2009.

WERKEMA, M. C. C. **Lean Seis Sigma**: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Werkema, 2010.

ZU, X., FREDENDALL, L.D., DOUGLAS, T.J. The evolving theory of quality management: the role of Six Sigma. **Journal of Operations Management**, vol. 26, n. 5, p. 630-650, 2008.

ZUBER-SKERRIT, O.; PERRY, C. Action research within Organizations and University Thesis Writing. **The Learning Organization**, vol. 9, n. 4, p. 171-179, 2002.

ZUBER-SKERRIT, O.; FLETCHER, M. The quality of an action research thesis on the social sciences. **Quality Assurance in Education**, vol. 5, n. 4, p. 413-436, 2007.