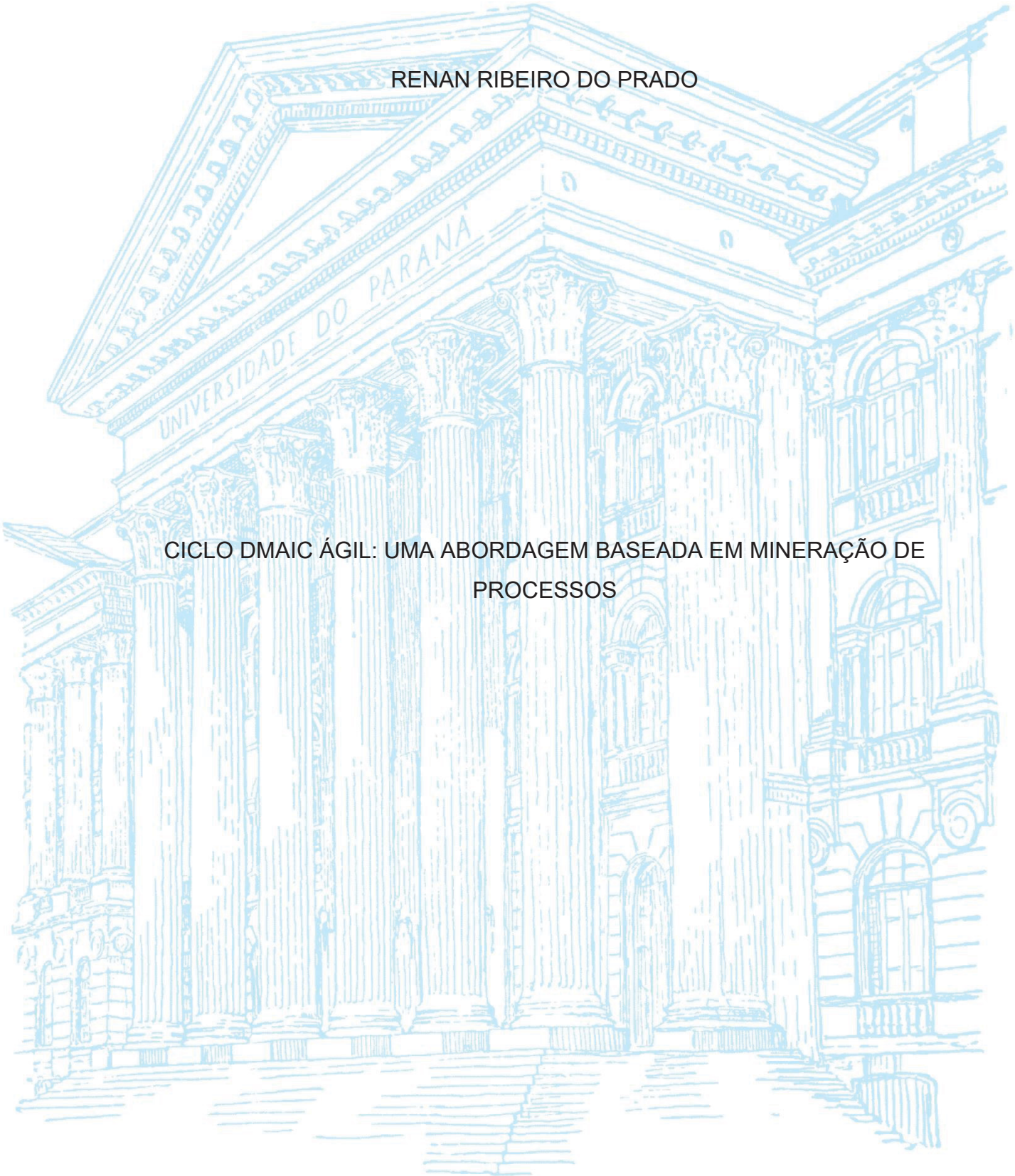
UNIVERSIDADE FERDERAL DO PARANÁ

RENAN RIBEIRO DO PRADO



CICLO DMAIC ÁGIL: UMA ABORDAGEM BASEADA EM MINERAÇÃO DE PROCESSOS

CURITIBA

2022

RENAN RIBEIRO DO PRADO

CICLO DMAIC ÁGIL: UMA ABORDAGEM BASEADA EM MINERAÇÃO DE PROCESSOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão, Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos.

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

Prado, Renan Ribeiro do
Ciclo DMAIC Ágil : uma abordagem baseada em mineração de processos / Renan Ribeiro do Prado. – Curitiba, 2022.
1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão.
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos.

1. Mineração de processos. 2. Six sigma (Padrão de controle de qualidade). 3. Melhoria de processos. I. Santos, Eduardo Alves Portela. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão. III. Título.

Bibliotecária: Maria Lidiane Herculano Graciosa CRB-9/2008

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO - 40001016172P9

ATA Nº1

ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE MESTRADO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO

No dia vinte e oito de abril de dois mil e vinte e dois às 08:00 horas, na sala Microsoft Teams, Universidade Federal do Paraná - Programa Profissional de Pós Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão (PPGOLD), foram instaladas as atividades pertinentes ao rito de defesa de dissertação do mestrando **RENAN RIBEIRO DO PRADO**, intitulada**: Ciclo DMAIC Ágil: uma abordagem baseada em Mineração de Processos**, sob orientação do Prof. Dr. EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS. A Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO da Universidade Federal do Paraná, foi constituída pelos seguintes Membros: EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ), SILVANA PEREIRA DETRO (40001016), FERNANDO DESCHAMPS (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ). A presidência iniciou os ritos definidos pelo Colegiado do Programa e, após exarados os pareceres dos membros do comitê examinador e da respectiva contra argumentação, ocorreu a leitura do parecer final da banca examinadora, que decidiu pela APROVAÇÃO. Este resultado deverá ser homologado pelo Colegiado do programa, mediante o atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca dentro dos prazos regimentais definidos pelo programa. A outorga de título de mestre está condicionada ao atendimento de todos os requisitos e prazos determinados no regimento do Programa de Pós-Graduação. Nada mais havendo a tratar a presidência deu por encerrada a sessão, da qual eu, EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim e pelos demais membros da Comissão Examinadora.

CURITIBA, 28 de Abril de 2022.

Assinatura Eletrônica
12/05/2022 15:51:37.0
EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
12/05/2022 15:09:10.0
SILVANA PEREIRA DETRO
Avaliador Externo (40001016)

Assinatura Eletrônica
08/06/2022 20:51:31.0
FERNANDO DESCHAMPS
Avaliador Externo (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GESTÃO DE
ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO - 40001016172P9

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RENAN RIBEIRO DO PRADO** intitulada: **Ciclo DMAIC Ágil: uma abordagem baseada em Mineração de Processos**, sob orientação do Prof. Dr. EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Abril de 2022.

Assinatura Eletrônica

12/05/2022 15:51:37.0

EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

12/05/2022 15:09:10.0

SILVANA PEREIRA DETRO

Avaliador Externo (40001016)

Assinatura Eletrônica

08/06/2022 20:51:31.0

FERNANDO DESCHAMPS

Avaliador Externo (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015. Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 185034
Para autenticar este documento/assinatura, acesse
https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp e insira o codigo 185034

Dedico este trabalho aqueles que sempre incondicionalmente me apoiaram durante esta jornada, meus pais e minha noiva.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aqueles que me proporcionaram a possibilidade de cursar este programa de pós-graduação, o Dr. Eduardo Portela que me orientou durante este percurso, e a todos os outros professores e colaboradores do PPGOLD da UFPR, com quem aprendi muito e levarei para sempre este aprendizado.

Agradeço também as empresas e todos seus profissionais que me auxiliaram na condução da aplicação do método que fora desenvolvido nesta dissertação, sem eles esta pesquisa não teria a relevância que tem.

E agradeço principalmente a minha família, meus pais Maiza e Valfrido que sempre me deram suporte para perseguir meus sonhos e sempre continuar estudando, a minha tia Marlene que sempre me apoiou e incentivou meus estudos, e minha noiva Thayná que nunca me deixou desistir de nada e está sempre ao meu lado.

Vivemos com o que recebemos, mas marcamos a vida com o que damos.

(Winston Churchill)

RESUMO

Como metodologia de melhoria da qualidade, o Seis Sigma deve estar sempre procurando melhorar a si mesmo, buscando ferramentas que possam ajudar a otimizar os processos e gerar valor. Identificada pela literatura, a Mineração de Processos tem este poder, utilizando técnicas de mineração para melhorar as etapas de um processo Seis Sigma, etapas do ciclo DMAIC (Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar). Propondo unir estas aplicações, este trabalho visa desenvolver um ciclo DMAIC mais eficiente, em termos de confiabilidade e tempo, desenvolvendo o ciclo DMAIC ágil através de uma abordagem para a mineração de processo e métodos de decisão multicritérios. O objetivo deste estudo é fornecer uma aplicação mais ágil para o Seis Sigma, utilizando dados de processos automatizados que estão cada vez mais disponíveis, e contribuir para a evolução de como os projetos de melhoria contínua são conduzidos atualmente. Para verificar a funcionalidade do ciclo ágil do DMAIC, foi realizada uma aplicação da metodologia em uma montadora multinacional e em uma operadora de planos de saúde.

Palavras-chave: DMAIC. Mineração de Processos. Seis Sigma. Melhoria de processos.

ABSTRACT

As a quality improvement methodology, Six Sigma should always be looking to improve itself, seeking tools that can help optimize processes and generate value. Identified by the literature, Process Mining has this power, using mining techniques to improve the steps of a Six Sigma process, steps of the DMAIC cycle (Define-Measure-Analyze-Improve-Control). Proposing to bring these applications together, this paper aims to develop a more efficient DMAIC cycle, in terms of reliability and time, by developing the agile DMAIC cycle through an approach to process mining and multi-criteria decision methods. The goal of this study is to provide a more agile application for Six Sigma, using automated process data that is increasingly available, and to contribute to the evolution of how continuous improvement projects are conducted today. To verify the functionality of the DMAIC agile cycle, the methodology was applied in a multinational automaker and a health insurance company.

Keywords: DMAIC. Process Mining. Six Sigma. Process Improvement

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FASES DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA 19
FIGURA 2 – ASPECTOS CHAVES DO CICLO DMAIC ÁGIL.....21
FIGURA 3 – CICLO DMAIC 23
FIGURA 4 – METODOLOGIA DE MINERAÇÃO DE PROCESSOS 26
FIGURA 5 – DADOS DE ENTRADA DA MINERAÇÃO DE PROCESSOS 26
FIGURA 6 – NÍVEIS HIERÁRQUICOS NO AHP 29
FIGURA 7 – MINERAÇÃO DE PROCESSOS APLICADA NO DAMIC 33
FIGURA 8 – FRAMEWORK DE ATIVIDADES DO CICLO DMAIC ÁGIL 35
FIGURA 9 – DEFINIÇÃO DE INDICADORES PARA EXTRAÇÃO 38
FIGURA 10 – UTILIZAÇÃO DO PROMETHEE PARA SELEÇÃO DE MELHORIA...38
FIGURA 11 – CICLO DMAIC ÁGIL 39
FIGURA 12 – LAYOUT DO PROCESSO DE SOLDAGEM.....41
FIGURA 13 – UTILIZAÇÃO DO AHP PARA RANQUEAMENTO.....42
FIGURA 14 – PROCESSAMENTO DE DADOS DOS BENEFICIÁRIOS 45
FIGURA 15 – MAPA DE PROCESSO FILTRADO APENAS PARA ESTADOS QUE POSSUEM “ERRO” 46
FIGURA 16 – MAPA DE PROCESSO FILTRADO APENAS PARA CAUSA QUE POSSUEM “FALHA” 46
FIGURA 17 – CARTA DE CONTROLE DE GASTOS EM QUIMIOTERAPIA 48
FIGURA 18 – CARTA DE CONTROLE DE GASTOS EM RADIOTERAPIA 49
FIGURA 19 – CARTA DE CONTROLE DE GASTOS EM TERAPIA ALVO 50
FIGURA 20 – CARTA DE CONTROLE DE GASTOS EM IMUNOTERAPIA 51
FIGURA 21 – CARTA DE CONTROLE DE GASTOS EM CIRURGIA PULMONAR .52
FIGURA 22 – ANOVA 54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – OS PRINCIPAIS OBJETIVOS E EXPECTATIVAS DO CICLO DMAIC 24
TABELA 2 – TIPOS DE MINERAÇÃO E USABILIDADE 27
TABELA 3 – ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY 29
TABELA 4 – PESQUISAS MAIS RELEVANTES E SUAS CONTRIBUIÇÕES.....31
TABELA 5 – CLASSIFICAÇÃO DE PRIORIDADE DOS INDICADORES PELO AVALIADOR 1.....43
TABELA 6 – CLASSIFICAÇÃO DE PRIORIDADE DOS INDICADORES PELO AVALIADOR 2.....43
TABELA 7 – CLASSIFICAÇÃO DE PRIORIDADE DOS INDICADORES PELO AVALIADOR 3.....43
TABELA 8 – CLASSIFICAÇÃO DE PRIORIDADE DOS INDICADORES PELO AVALIADOR 4.....43
TABELA 9 – RANQUEAMENTO DO PESO DOS TIPOS DE PARADA.....43
TABELA 10 – CARACTERÍSTICAS DAS ATIVIDADES 52
TABELA 11 – CARACTERÍSTICAS DAS CAUSAS 53

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AHP	- Analytic Hierarchy Process
BPMN	- Business Process Model and Notation
DMADV	- Define-Measure-Analyse-Design-Verify
DMAIC	- Define-Measure-Analyze-Improve-Control
DOE	- Design of Experiments
EPC	- Event-driven Process Chain
FMEA	- Failure Mode and Effect Analysis
MDMC	- Métodos de decisão multicritérios
PROMETHEE	- Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation
SMART	- Specific-Measurable-Achievable-Relevant-Time bound
5W2H	- What-Why-Who-Where-When-How-How much

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
1.1 OBJETIVOS 16
1.1.1 Objetivo geral 17
1.1.2 Objetivos específicos 17
1.2 JUSTIFICATIVA 17
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 18
2 METODOLOGIA DE PESQUISA 19
2.1 FASE I - BASE CONCEITUAL 20
2.2 FASE II – ESTRUTURAÇÃO 21
2.3 FASE III – APLICAÇÃO 22
3 REFERENCIAL TEÓRICO 23
3.1 SIX SIGMA 23
3.2 MINERAÇÃO DE PROCESSOS 25
3.3 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO Á TOMADA DE DECISÃO 27
3.3.1 Método de análise hierárquica (AHP) 28
3.3.2 Método de organização de classificação de preferência (Promethee) 30
3.4 MINERAÇÃO DE PROCESSOS NO DMAIC 31
4 ESTRUTURAÇÃO DO CICLO DMAIC ÁGIL 33
4.1 FRAMEWORK DE APLICAÇÃO 34
5 APLICAÇÃO 40
5.1 VISÃO GERAL DOS PROCESSOS 40
5.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E PROJETO (FASES 1 E 2) 41
5.3 SELEÇÃO DE INDICADORES (FASE 3) 42
5.4 EXTRAÇÃO DOS DADOS (FASE 4) 44
5.5 PROCESSAMENTO DE DADOS (FASE 5) 44
5.6 MINERAÇÃO (FASES 6 E 7) 45
5.7 MODELOS ESTÁTISTICOS (FASE 8) 47
5.7.1 Modelos estatísticos gerados para operadora de planos de saúde 47
5.7.2 Modelos estatísticos gerados para indústria automobilística 52
6 DISCUSSÃO, RESULTADOS E LIMITAÇÕES DA APLICAÇÃO 55
6.1 INDUSTRIA AUTOMOBILÍSTICA 55
6.2 OPERADORA DE PLANOS DE SAÚDE 56

6.3 APRENDIZADOS E LIMITAÇÕES 57
7 CONCLUSÃO 58
REFERÊNCIAS.....60

1 INTRODUÇÃO

A melhoria de processos depende muito da capacidade de identificar um problema, desenvolver soluções e implementá-las (Evans et al., 2016). Há várias metodologias que utilizam etapas e passos estruturados em busca da melhoria contínua, partindo da identificação de um problema até a implementação de uma solução. Uma das metodologias mais difundidas no mundo seguindo esse princípio, é o Six Sigma.

Com o surgimento nos anos 80, o Six Sigma logo teve seu reconhecimento como uma metodologia de melhoria de qualidade, devido a diversos casos de sucesso. A metodologia tornou-se referência em eficiência para alcançar a melhoria contínua. De modo que, ao longo das décadas a metodologia Six Sigma foi adotada por muitas organizações, independentemente de seu tamanho (Treichler, 2005).

Six Sigma é uma abordagem estruturada, desenvolvida para aplicação em projetos, que utiliza métodos estatísticos para reduzir a variabilidade. O uso do Six Sigma é uma aplicação importante em um ambiente que valoriza a qualidade e a melhoria dos negócios, e os métodos estatísticos desempenham um papel fundamental no sucesso deste processo (Douglas C. Montgomery e William H. Woodall., 2008).

Algo que pode ser apontado como um problema na execução de um projeto Six Sigma é a falta de diretrizes claras nos estágios iniciais de um projeto, onde os profissionais precisam de uma melhor orientação sobre como iniciar um projeto (Kumar et al., 2006). Há também lacunas em relação à execução de roteiros em projetos Six Sigma, mas isso pode ser contornado dependendo das necessidades organizacionais e dados disponíveis (Snee, 2010).

Com a melhoria de processos é uma área de estudo que é continuamente explorada, existem outras metodologias além do Six Sigma, bem como diversas ferramentas que podem ser utilizadas na área de qualidade, e uma das áreas mais emergentes neste tipo de estudo é a mineração de processo. Que tem como objetivo descobrir, monitorar e melhorar processos a partir de dados reais (também conhecidos como registros de eventos), obtidos de sistemas de informação (Aalst, 2016). A mineração de processo não é um método que substitui os sistemas de informação mais clássicos métodos como o próprio Six Sigma, porém, ele pode ser usado para validar e acelerar o processo melhorias (Aalst, et al., 2012).

E isso é o que está pesquisa se propõe, delimitar uma metodologia que cria uma intersecção entre o Six sigma e a mineração de processos, utilizando ambas em aplicações com dados reais.

Almejando uma tomada de decisão mais precisa e analítica, nas etapas que assim são necessárias, está pesquisa utilizou também de métodos de decisão multicritério (MDMC). São utilizados dois tipos de MDMC, sendo eles o método Analytic Hierarchy Process (AHP) que será utilizado para ranquear a prioridade de indicadores que devem ser extraídos dos sistemas de informação, e o método Promethee que será aplicado para determinar a prioridade de possíveis implementações.

Uma abordagem que tem se demonstrado eficiente ao utilizar a mineração de processos junto ao Six Sigma, é o uso de suas técnicas dentro do ciclo DMAIC (ciclo utilizado para orientar e conduzir projetos em Six sigma), com estas técnicas de mineração é possível proporcionar uma agilidade visível ao final do processo (Geffen et al, 2013; Graafmans, et al., 2020).

Embora já existam outros estudos nesta área e alguns conceitos destes estudos sejam utilizados neste trabalho, esta pesquisa tem uma visão distinta. Esta distinção é caracterizada pelo integração de três métodos, onde está pesquisa se propõe a trazer as limitações e correlações da literatura, com o objetivo de desenvolver um método que integre a mineração de processos (descoberta), Six Sigma (análise) e MDMC (decisão). Trazendo clareza e trazendo especificidade para o método, para cada parte de um projeto, onde há a descoberta de dados e processos, análise desses dados e processos, e decisões tomadas a partir desses dados e processos. Trazendo assim uma nova abordagem para a execução do ciclo DMAIC, delimitando através de uma estrutura as técnicas a serem utilizadas dentro de cada etapa do ciclo DMAIC, e validando seus conceitos de forma prática através aplicações com dados reais.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos da presente pesquisa estão relacionados a formatação de um framework de aplicação, de maneira que possa ser replicado nos mais diversos segmentos que tenham os requisitos necessários.

1.1.1 Objetivo geral

Projetos de Six Sigma tem diretrizes e caminhos a serem adotados dependendo dos obstáculos e informações que se encontra durante a sua execução, porém, algo que não se altera é a aplicação do DMAIC, e o objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo de aceleração deste ciclo utilizando a mineração de processos.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, são listados alguns pontos nos quais pretende-se atingir determinados resultados de melhorias, sendo eles:

1. Melhorar a seleção de indicadores que serão utilizados no projeto, utilizando o AHP.
2. Ter uma extração, manipulação, e análise de dados de maneira simplificada e agilizada, através da mineração de processos.
3. Validar e priorizar as aplicações de melhorias propostas, utilizando o método Promethee antes de uma aplicação de um lote piloto.
4. Fornecer uma documentação de execução de projeto que simplifica o controle de qualidade, após conclusão do projeto.

1.2 JUSTIFICATIVA

Um projeto de Six Sigma necessita de uma execução ordenada e estruturada, sendo aplicado desta maneira o ciclo DMAIC, no qual existem cinco etapas para distintos momentos do projeto. Cada etapa tem a sua problemática e resultados que são esperados. Por se tratar de uma metodologia na qual se necessita de algumas formalidades e aquisição de indicadores confiáveis, é esperado que se empregue um tempo tanto para a definição de indicadores quanto para a aquisição destes indicadores.

Neste contexto, é sempre válido buscar alternativas para que um processo seja mais ágil, sem perder a sua confiabilidade. E uma ferramenta que tem se demonstrado muito poderosa para a aquisição de indicadores é a mineração de processos, que consegue trazer um panorama real do processo, a partir de dados reais, que são utilizados como indicadores. Porém, há uma ausência de metodologias e diretrizes quanto a aplicação da mineração de processos para uso prático.

Desta maneira, buscando trazer um desempenho aprimorado ao ciclo DMAIC clássico, esta pesquisa utiliza de outros métodos e ferramentas que não são usuais a

metodologia clássica do Six Sigma. Métodos e ferramentas estes que buscam suprir pontos chaves do ciclo DMAIC de maneira mais eficiente, como a qualidade dos indicadores, tomadas de decisão, e velocidade de conclusão do projeto.

Aplicando a mineração de processos é esperado uma extração de indicadores mais precisa e ágil. Junto a utilização de métodos MDMC é previsto que se tenha uma melhor escolha de indicadores, melhorias, e consecutivamente tomadas de decisão mais precisas.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi estruturada conforme as fases do ciclo de desenvolvimento da pesquisa. Partindo de sua idealização com base no referencial teórico (fase I) que está na seção 3, onde contém toda a informação necessária para compreender os conceitos abordados nesta pesquisa, assim como os estudos relevantes que já foram feitos em uma abordagem similar.

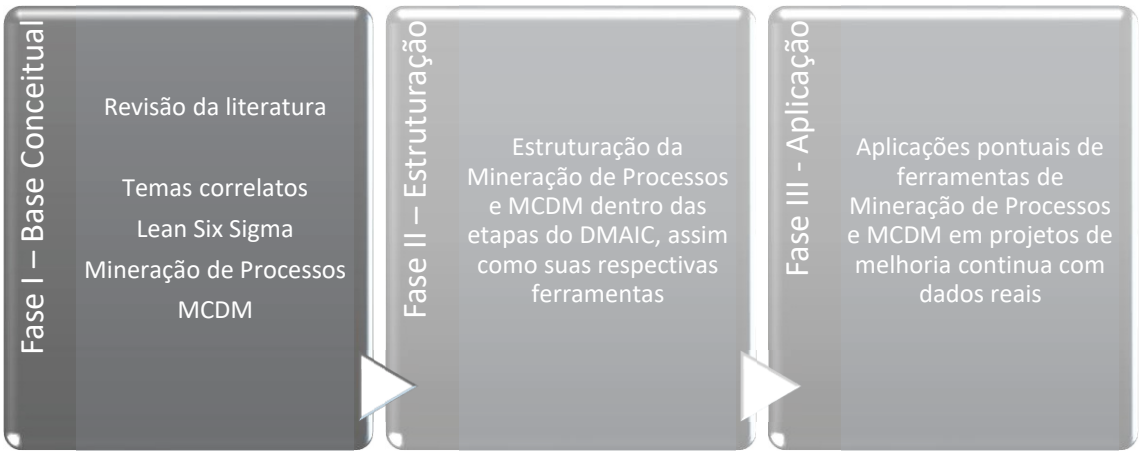
Na Seção 4 se encontra a estruturação e concepção do método (fase II) DMAIC Ágil, de forma que é apresentado onde se conecta cada intervenção da mineração de processos e de MDMC nas etapas do DMAIC clássico. Já a seção 5 nos apresenta a aplicação do método, onde é aplicado e exemplificado nas situações em que seria propício a utilização dos aspectos apresentados no método DMAIC Ágil. Por fim a seção 6 apresenta as conclusões e discussões que a pesquisa proporcionou.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa se originou na busca de encontrar possibilidades de melhorias no ciclo DMAIC, e foi a partir da sua fase conceitual que foi encontrado uma possibilidade de utilizar a mineração de processos. Sendo adicionado também a integração de métodos multicritérios, buscando melhorar a assertividade de pontos cruciais para tomada de decisão.

Para desenvolver o modelo de aplicação do ciclo DMAIC junto a mineração de processos e métodos multicritérios, foi pensado em como essas ferramentas poderiam melhorar as etapas do ciclo clássico. De maneira que foram divididas 3 fases que constituem a metodologia desta pesquisa, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 – Fases de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: O autor (2021).

A primeira fase do desenvolvimento da pesquisa é denominada de Base Conceitual. Onde contempla a revisão da literatura com os temas centrais desta pesquisa, sendo eles Lean Six Sigma, mineração de processos e métodos de decisão multicritérios. Assim como trabalhos relacionados, que abordam a utilização de Six Sigma e mineração de processos em conjunto. Os métodos multicritérios abordados no referencial teórico foram apenas os que são utilizados na pesquisa, ou seja, o Analytic Hierarchy Process (AHP) e Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE).

A segunda fase, intitulada de Estruturação, engloba toda a concepção e estruturação de uma nova metodologia, onde busca-se fazer a inserção dos conceitos de mineração de processos e MCDM dentro das etapas do ciclo DMAIC. De maneira

que dentro de cada etapa é direcionado qual e quando uma ferramenta ou conceito é utilizado.

Na terceira fase é onde de fato os conceitos e ferramentas apresentados na fase 2 são testados, de maneira que é possível vivenciar a praticidade, agilidade e confiabilidade que estas ferramentas podem trazer em um projeto que façam a sua utilização.

2.1 FASE I - BASE CONCEITUAL

A pesquisa se iniciou com o objetivo de fornecer ferramentas e opções para tornar o projeto de Six Sigma mais rápido e preciso. Assim sendo, esta pesquisa iniciou-se através da revisão da literatura, onde foi orientada por duas perguntas para determinar seu direcionamento, sendo elas:

- Q1: O que seria necessário para acelerar um projeto de Six Sigma? E como isso poderia ser feito?
- Q2: Quais tecnologias poderiam ser agregadas ao Six Sigma para torná-lo mais preciso.

Através da revisão da literatura, foi identificado que todo projeto de Six Sigma segue um ciclo de execução, denominado DMAIC, onde o projeto é fragmentado em etapas, consistindo em uma etapa para Definir (Define) o projeto, posteriormente uma para Medir (Measure) os dados/indicadores que serão utilizados no projeto, consecutivamente uma etapa para Analisar (Analyze) os dados/indicadores coletados, sucessivamente tem se uma etapa de Melhoria (Improve) que define e implementa as melhorias que atendem o que foi definido no início do projeto, e pôr fim a etapa de Controle (Control) que tem como objetivo fazer com que o projeto continue utilizando as melhorias propostas, e verificando se ainda são válidas com o passar do tempo.

Uma vez identificado estas etapas, que possuem objetivos bem definidos, foram observadas oportunidades de agir nas mesmas, uma vez que é mais simples acelerar as etapas individualmente do que no projeto como um todo.

Ainda através da revisão da literatura, foi visto na mineração de processos uma ferramenta com potencial de agilizar o Six Sigma. Por fornecer de maneira mais ágil a coleta de dados/indicadores, gerar automaticamente através de softwares de mineração o mapa do processo, além de possuir ferramentas de filtros e análises que poderiam auxiliar na análise de um processo.

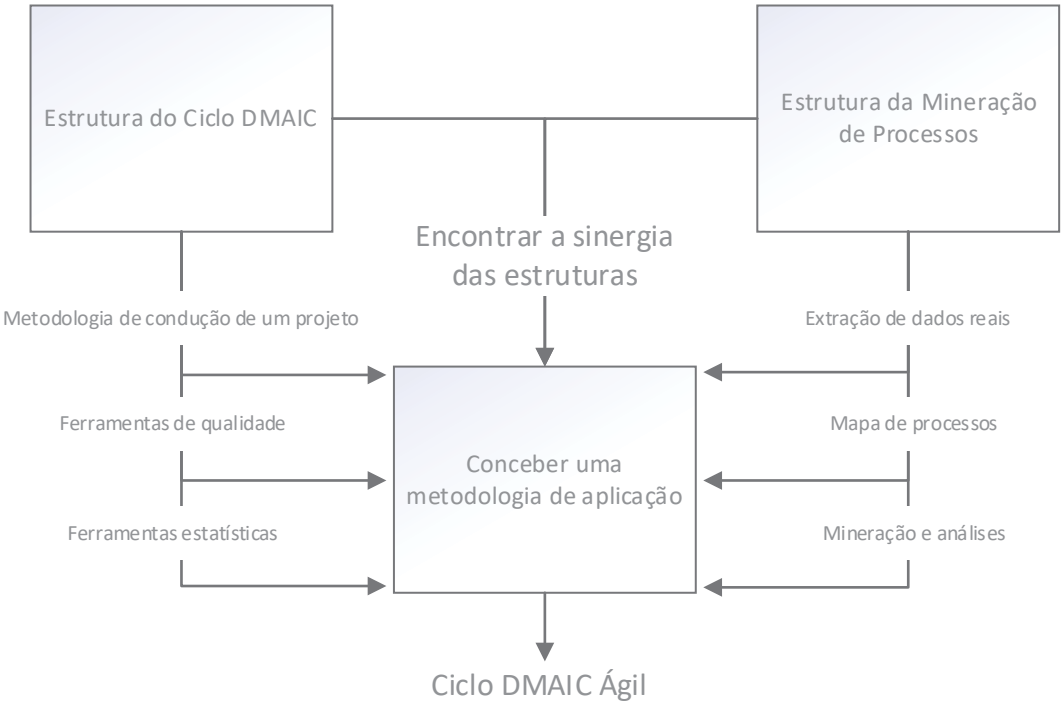
Com a ideia mais madura, da integração da mineração de processos com o ciclo DMAIC, viu se que seria interessante utilizar de algum método para a tomada de decisão, em dois pontos cruciais do projeto. Sendo estes momentos o de definição dos indicadores a serem utilizados, e de definição da prioridade de melhorias a serem implementadas. E através a revisão da literatura foram selecionados dois métodos multicritérios para serem utilizados, o AHP e o PROMETHEE.

2.2 FASE II – ESTRUTURAÇÃO

A fase de estruturação consistiu em estruturar os temas selecionados na base conceitual, e conceber uma metodologia estruturada integrando os três temas propostos a se trabalhar. Está metodologia foi batizada de Ciclo DMAIC Ágil.

Como pode ser observado na figura 2, o objetivo desta fase foi encontrar uma sinergia entre Six Sigma e mineração de processos.

Figura 2 – Aspectos chaves do ciclo DMAIC Ágil.



Fonte: O autor (2021).

A partir da estrutura do ciclo DMAIC e da mineração de processos, foi dado vida a um modelo que contemplasse os elementos essenciais de ambas, com a adição dos MCDM já citados. Além da concepção de um framework que detalha as atividades

de maneira sequencial, já integrando e intercalando as atividades das três áreas de estudo desta pesquisa.

2.3 FASE III – APLICAÇÃO

A fase de aplicação tem o objetivo de pôr em prática o ciclo DMAIC Ágil, utilizando nesta pesquisa alguns dados reais, que foram utilizados para fazer pequenos recortes e utilizações pontuais de como a metodologia pode ser aplicada.

Nesta fase é possível ver exemplos de aplicações que envolvam de alguma maneira todas as fases do ciclo DMAIC Ágil, e é abordado os possíveis ganhos de qualidade e agilidade na utilização da mineração de processos, e a maior confiabilidade para se tomar decisões ao utilizar de métodos multicritérios para isso.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será abordada os principais conceitos do Six Sigma, mineração de processos, os dos métodos de multicritérios que serão utilizados neste trabalho, e as pesquisas relevantes que abordam a inserção da mineração de processos no ciclo DMAIC.

3.1 SIX SIGMA

Desenvolvido na Motorola em meados dos anos 80, o Six Sigma é uma metodologia com o objetivo de melhorar os resultados de um processo, minimizando variações e eventuais defeitos que possam ocorrer (Voehl et al., 2014). Onde, um profissional treinado conduz o projeto utilizando uma das duas abordagens típicas de um projeto Six Sigma, podendo ser a abordagem do DMADV ou do DMAIC. O DMADV está focado no desenvolvimento de produtos, enquanto o DMAIC é focado em questões de melhoria de processos. Para o propósito do trabalho, será estudada a abordagem através do DMAIC. A Figura 3 ilustra cada etapa do ciclo DMAIC e aborda os pontos cruciais de cada uma delas.

Figura 3 – Ciclo DMAIC.

FONTE: O autor (2020).

O ciclo DMAIC é um dos pilares do sucesso do Six Sigma, é um método estruturado e sequencial que procura enfatizar a voz do cliente, utilizando ferramentas com base estatística para buscar uma solução melhor. DMAIC é um acrônimo para Definir (Define) , Medir (Measure) , Analisar (Analyze) , Melhorar (Improve) e Controlar

(Control). Onde cada letra corresponde a uma etapa do ciclo DMAIC (Tang, et al., 2007).

É necessário seguir as etapas em sua ordem correta, cada etapa tem sua importância e os resultados esperados após a sua conclusão, estas características estão detalhadas na tabela 1.

Tabela 1 – Os principais objetivos e expectativas do ciclo DMAIC.

Etapa	Qual a importância da etapa?	O que é esperado ao final desta etapa?
Definir	Definir é onde o ciclo se inicia, nesta etapa o escopo do projeto é definido, o que é de vital importância, pois um escopo mal definido ou superficial pode ocasionar o fracasso do projeto.	Espera-se que a equipe do projeto tenha o objetivo bem estabelecido, assegurando que as metas do projeto estejam alinhadas com as da empresa. Espera-se também uma estimativa do ganho após o projeto implementado, um mapeamento de todo o macro processo envolvido, e um cronograma de todo o ciclo DMAIC determinando o tempo estimado para cada etapa do ciclo.
Medir	Medir é o passo onde é possível entender o estado atual dos processos e como eles funcionam, através da aquisição de indicadores.	Ao final desta etapa é necessário se ter um processo detalhadamente mapeado, se necessário, ser ajustado as metas e ganhos esperados com o projeto. Além de possuir os indicadores coletados para análises.
Analisar	O objetivo de analisar é identificar e selecionar as causas raízes dos problemas do projeto, validando através de ferramentas estatísticas.	É necessário que tenham sido identificadas as causas raízes dos problemas prioritários, para que seja possível apresentar o que está ocorrendo com o processo, e orientar onde devem ser efetuadas

		as implementações, que serão adotadas na próxima etapa do ciclo.
Melhorar	Melhorar é onde são apresentadas as soluções para os problemas do processo, fazendo as melhorias necessárias e verificando se os objetivos específicos foram alcançados.	No final da etapa, a equipe do projeto deve ter feito uma lista de soluções para cada problema, um plano de ação para a implementação das soluções, feito as melhorias necessárias, e avaliado através dos resultados das melhorias se as metas foram realmente alcançadas.
Controlar	Controlar é necessário para monitorar as metas, assegurando que os ganhos obtidos no projeto sejam mantidos.	Concluindo a etapa, espera-se que o projeto tenha gerado novos processos, bem definidos e alinhados, que os objetivos tenham sido alcançados, e que haja um plano para monitorar o projeto periodicamente, assim como toda a documentação e lições aprendidas ao longo do projeto

FONTE: Aalst (2016); Eck, et al. (2015)

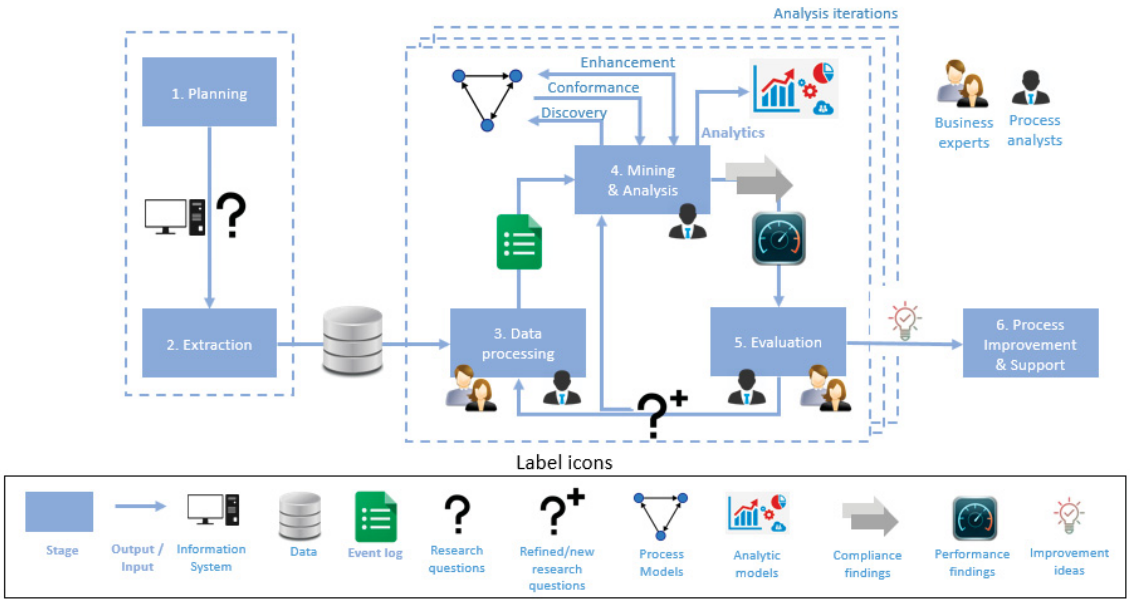
3.2 MINERAÇÃO DE PROCESSOS

Mineração de processos é um campo de pesquisa em ascensão, que incorpora técnicas de mineração de dados que podem ser usadas em empresas que possuem um banco de dados maduro, fornecendo suporte para melhorias de processo (Aalst., 2016).

A base da Mineração de processos são os registros de eventos, registros esses que registram os eventos de um processo, estes registros de eventos são obtidos através de sistemas de informação que já estão disponíveis nas empresas, o propósito da mineração de processo é descobrir um processo, monitorá-lo e melhorá-lo usando técnicas apropriadas com os registros, na maioria dos registros é possível extrair informações sobre as etapas de execução do projeto e as marcas temporais que podem determinar o início e termino das atividades. A figura 4 mostra a

metodologia proposta por Eck et al. (2015) para a execução de um projeto típico de mineração de processo, desde o planejamento até a exibição dos resultados.

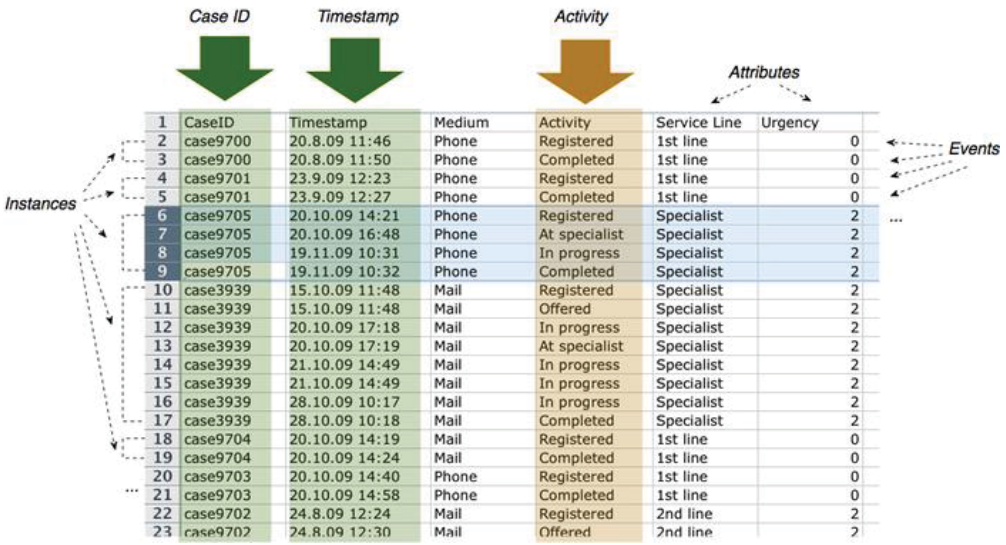
Figura 4 – Metodologia de Mineração de Processo.



FONTE: Eck et al. (2015)

Após a extração os logs de eventos são tabulados, como a figura 5 que ilustra os elementos de um registro, pelo menos três desses elementos são obrigatórios, que são Casos ID, Marca temporal e Atividade. Estes elementos são necessários para que o software de mineração gere um modelo que descreva o processo a ser minerado.

Figura 5 – Dados de entrada da mineração de processo



	CaseID	Timestamp	Medium	Activity	Service Line	Urgency
1	case9700	20.8.09 11:46	Phone	Registered	1st line	0
2	case9700	20.8.09 11:50	Phone	Completed	1st line	0
3	case9701	23.9.09 12:23	Phone	Registered	1st line	0
4	case9701	23.9.09 12:27	Phone	Completed	1st line	0
5	case9705	20.10.09 14:21	Phone	Registered	Specialist	2
6	case9705	20.10.09 16:48	Phone	At specialist	Specialist	2
7	case9705	19.11.09 10:31	Phone	In progress	Specialist	2
8	case9705	19.11.09 10:32	Phone	Completed	Specialist	2
9	case3939	15.10.09 11:48	Mail	Registered	Specialist	2
10	case3939	15.10.09 11:48	Mail	Offered	Specialist	2
11	case3939	20.10.09 17:18	Mail	In progress	Specialist	2
12	case3939	20.10.09 17:19	Mail	At specialist	Specialist	2
13	case3939	21.10.09 14:49	Mail	In progress	Specialist	2
14	case3939	21.10.09 14:49	Mail	In progress	Specialist	2
15	case3939	28.10.09 10:17	Mail	In progress	Specialist	2
16	case3939	28.10.09 10:18	Mail	Completed	Specialist	2
17	case9704	20.10.09 14:19	Mail	Registered	1st line	0
18	case9704	20.10.09 14:24	Mail	Completed	1st line	0
19	case9703	20.10.09 14:40	Phone	Registered	1st line	0
20	case9703	20.10.09 14:58	Phone	Completed	1st line	0
21	case9702	24.8.09 12:24	Mail	Registered	2nd line	2
22	case9702	24.8.09 12:30	Mail	Offered	2nd line	2

FONTE: Fluxicon Homepage (2020).

Mineração de processos consiste em observar uma atividade de um processo através de seus logs e usá-los em algum dos três tipos de mineração, que são a mineração de descoberta, a mineração de conformidade e a mineração de aprimoramento (Aalst, 2016; Aalst et al., 2012) estas características estão detalhadas na tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de mineração e usabilidade.

Tipos de mineração	Por que utilizar este tipo de mineração?
Mineração de descoberta	A partir de um registro de eventos usado como entrada, é possível descobrir automaticamente (usando software de mineração de processo) um modelo de processo (Petri Net, BPMN, EPC, Rede Causal...). Dado este modelo, é muito mais fácil entender o processo que está sendo trabalhado, economizando tempo e trabalho de ter que fazer um mapeamento tradicional do processo.
Mineração de conformidade	Na mineração de conformidade você pode começar a partir de um processo já estabelecido e com um comportamento esperado, é possível fazer uma mineração exploratória a fim de detectar se o registro de eventos adquirido tem o comportamento esperado ou se há alguma inconsistência. Ao abordar a conformidade do processo, é possível obter ganhos em diversas áreas, tais como qualidade, tempo, recursos e custos.
Mineração de aprimoramento	Este tipo de mineração leva em consideração os registros de eventos para promover melhorias, com base em uma análise de desempenho do processo. Esta é uma ótima ferramenta para encontrar possíveis gargalos e desvios do processo.

FONTE: Adaptado de (Aalst, 2016; Eck et al., 2015).

3.3 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO Á TOMADA DE DECISÃO

As estruturas organizacionais são cada vez mais orientadas a tomadas de decisões complexas, no qual tem de levar em consideração inúmeros fatores.

Buscando tomar decisões mais concisas, que incorpore, e que ao mesmo tempo dê voz a todos envolvidos na tomada de decisão, vem sendo utilizado métodos de decisão multicritérios, que se dedicam a analisar os múltiplos critérios conflitantes que são expostos. (HAJKOWICZ; HIGGINS, 2008).

Métodos esses que tentam ranquear ou atribuir pontuações aos problemas apresentados, desde que possuam um conjunto finito de opções para as decisões, e que possuam também um conjunto de múltiplos critérios para a avaliação. (HAJKOWICZ; HIGGINS, 2008).

No contexto desta pesquisa métodos multicritérios foram utilizados para tomada de decisão em dois pontos cruciais, no qual a decisão tomada influência no caminho a ser seguido para o avanço do projeto. Desta forma foram utilizados os métodos Analytic Hierarchy Process (AHP) e Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE).

3.3.1 Método de análise hierárquica (AHP)

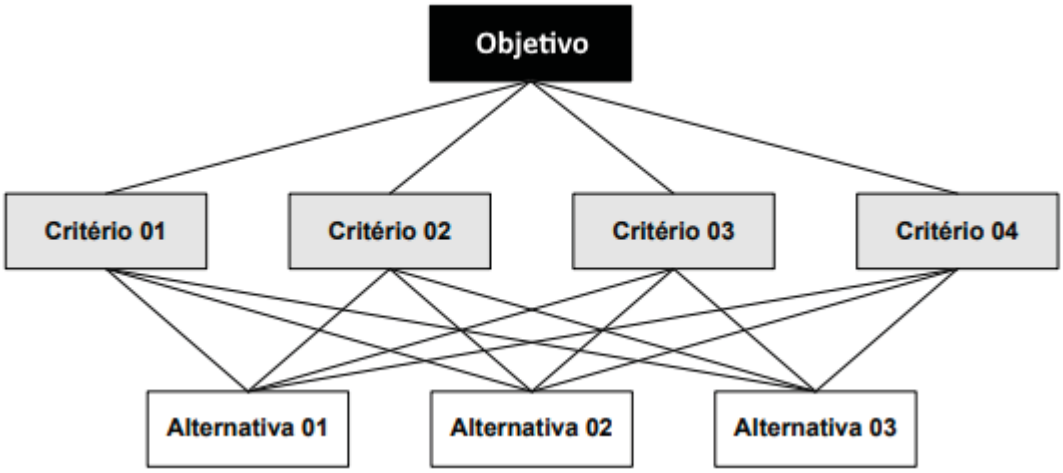
Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método de decisão multicritério (MCDM), com uma abordagem de valor para comparações em pares (Saaty 1980). O método AHP foi desenvolvido com o objetivo de modelar problemas desestruturados do cotidiano das pessoas, de maneira que pudessem tomar decisões por elas sem necessariamente ter a noção exata da importância dos parâmetros utilizados (Saaty, 1980; Saaty 1991).

No método AHP os tomadores de decisão atribuem seus julgamentos subjetivos para uma atribuição numérica, de maneira que se quantifique a importância relativa dos critérios que estão sob análise (Vargas, 1990). Sendo que o método considera um conjunto de critérios e alternativas de decisão, a partir destas alternativas, a melhor é selecionada levando em conta os critérios utilizados para o julgamento, que foram estabelecidos pelos decisores que estão envolvidos nesta tomada de decisão (Dožić e Kalić, 2014).

Para ser estruturado é necessário ter pelos três *clusters*, sendo elas o objetivo, os critérios, e as alternativas. A partir dos níveis hierárquicos primeiramente é possível ter se uma compreensão entre o objetivo, os critérios e as alternativas de decisão. Tem se o objetivo como o nível hierárquico mais alto e as alternativas de decisão como o nível mais baixo, entre estes níveis são encontrados os critérios de decisão e

possíveis subcritérios. Pela figura 6 é possível visualizar de maneira gráfica a posição hierárquica e conexões para melhorar ponderar a escolha de uma alternativa.

Figura 6 – Níveis hierárquicos no AHP.



FONTE: Adaptado de Vargas (2010).

Como segundo princípio, o método tem a atribuição numérica para determinar uma importância de pareamento entre os critérios e alternativas. Quem faz essa atribuição numérica são especialistas na área que está situado o problema abordado, essa atribuição é realizada levando em consideração a escala fundamental de Saaty, escala está exposta na tabela 3, podem ser atribuídos também valores entre os números mencionados na tabela, se o avaliador considerar que o nível de importância está entre o mencionados na tabela 3.

Tabela 3 – Escala fundamental de Saaty.

Nível de Importância	Avaliação numérica
Igual	1
Moderada	3
Forte	5
Muito Forte	7
Extrema	9

Fonte: Adaptado de Saaty (2005).

E por fim o método analisa a partir de seu terceiro princípio, a consistência dos julgamentos realizados pelos especialistas. Considerando que as escolhas

selecionadas são subjetivas e dependentes do conhecimento que cada especialista possui (Park et al., 2018). Caso haja uma alta porcentagem de inconsistência é necessário rever o que cada decisor selecionou ou até mesmo os critérios e alternativas utilizadas, nestes casos é preciso que seja refeita a análise até que haja uma consistência entre as atribuições dos especialistas.

O método AHP desta forma nos possibilita mensurar a importância de critérios e alternativas por meio de pareamento, e ranqueando do que é mais e menos importante, podendo eleger a melhor alternativa (Bakar et al., 2017).

3.3.2 Método de organização de classificação de preferência (Promethee)

O objetivo principal do Promethee é de se obter uma classificação, na qual consiste da construção de sobreclassificação de valores (Vincke, 1992). No método Promethee o decisor é o responsável por atribuir pesos, conforme ele considera a importância de um critério.

Com o passar do tempo o método Promethee foi adaptado de diversas maneiras, criando uma família de metodologias subjacentes, na literatura foi encontrado as seguintes aplicações (Brans & Vinck, 1985; Brans et al., 1986; Brans & Mareschal, 1992; Taleb & Mareschal, 1995):

- Promethee I – apresenta uma relação de classificação parcial entre as possíveis alternativas.
- Promethee II – apresenta uma relação de classificação completa entre as alternativas.
- Promethee III – realiza o tratamento probabilístico do fluxo (preferencialmente por intervalos).
- Promethee IV – é utilizado quando há situações onde as alternativas são contínuas.
- Promethee V – utiliza o conceito do Promethee II, porém acrescentando restrições as alternativas.
- PROMETHEE VI – utilizado para determinar intervalos de valores, no lugar de valores exatos, é utilizado em casos no qual o decisor não se sente apto ou não quer determinar um valor.
- Promethee GAIA – Versão que traz uma versão mais interativa e visual do Promethee.

O método utilizado nesta pesquisa será o Promethee II.

3.4 MINERAÇÃO DE PROCESSOS NO DMAIC

O Six Sigma, como metodologia de melhoria da qualidade, não pode permanecer com uma estrutura estática, se quiser continuar gerando valor (Tang et al., 2007). Com base nesta premissa, surgiu a ideia de utilizar outra ferramenta de qualidade que poderia melhorar o ciclo DMAIC. Uma revisão sistemática da literatura foi realizada em busca de algo que pudesse agregar valor a esta metodologia, e pensou-se na mineração de processos, que poderia ter o papel que já havia sido proposto por Aalst e Dustdar, onde compreenderam que a mineração de processos não é um método que substitui métodos mais clássicos de qualidade, como o próprio Six Sigma, mas pode ser usado para validar e acelerar melhorias de processo (Aalst et al., 2012).

Utilizando as bibliotecas digitais IEEE Xplore, Google Scholar, SpringerLink e Web of Science. A revisão da literatura foi feita utilizando as palavras-chave "Process Mining", "Six Sigma", "DMAIC", e "Processes Improvement", de modo que fossem combinadas na busca. Esta pesquisa resultou em 822 publicações relevantes, e subsequentemente apenas 4 destas pesquisas foram selecionadas, que chamaram atenção por trazer uma aplicação de Mineração de processos dentro do DMAIC ou notas de possíveis aplicações. Estas pesquisas trazem informações muito valiosas sobre a aplicação destas duas metodologias em conjunto, por exemplo, como acelerar o tempo de projeto, a utilidade e as possíveis aplicações de certas técnicas de mineração em determinadas etapas do DMAIC, a utilidade de usar dados reais de registros e os benefícios de uma ferramenta de apoio que combina as duas metodologias. A Tabela 4 traz estas pesquisas e suas principais contribuições.

Tabela 4 – Pesquisas mais relevantes e suas contribuições.

Nome da pesquisa	Principais contribuições
Accelerate DMAIC using process mining (Geffen et al., 2013)	Após a aplicação das técnicas de mineração de processos nas fases DMAIC, foi possível acelerar um processo que levaria em média de 9 a 12 semanas para uma duração média de 4 a 6 semanas.
Data perspective of lean six sigma in industry 4.0 (Dogan and Gurcan., 2018)	Foi interpretado que as técnicas de descoberta são úteis para as fases Definir e Analisar, além de que as técnicas de Conformidade são aplicáveis nas fases de Medição e Controle.

The future of continuous improvement (Kollenburg and Wouters, 2018)	Foi entendido que a utilização de dados reais dos registros de eventos na fase Definir ajudaria e traria um o escopo do projeto mais certeiro, e com a utilização de técnicas de mineração de processo as fases de Medir e Analisar seriam simplificadas, destacando também que na fase Controlar seria muito útil utilizar a Mineração de processos para auxiliar na gestão diária das operações.
Process Mining for Six Sigma (Graafmans et al., 2020)	A fim de preencher uma lacuna de um estudo dedicado exclusivamente entre a intersecção do Six sigma e Mineração de processos, foi desenvolvido o PMSS (Process Mining for Six Sigma), fornecendo uma orientação sobre como utilizar técnicas de mineração dentro do ciclo DMAIC.

FONTE: O autor (2020).

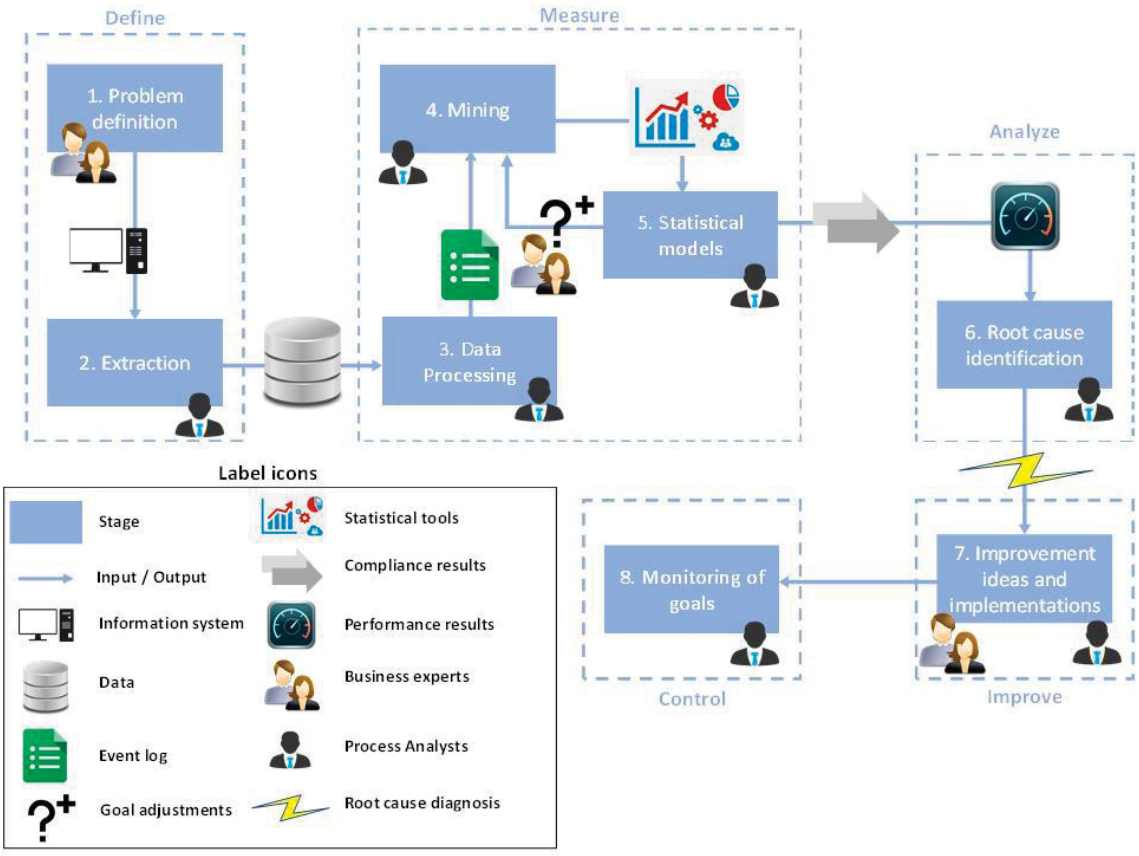
4 ESTRUTURAÇÃO DO CICLO DMAIC ÁGIL

O ciclo DMAIC Ágil traz como abordagem a incorporação da Mineração de processos juntamente com o ciclo DMAIC, sem alterar a ordenação das etapas de um projeto Six Sigma padrão, o ciclo DMAIC Ágil tem como principal vantagem o tempo de execução, reduzindo o tempo gasto nas etapas iniciais.

Atualmente, este estudo foi limitado apenas à mineração de descoberta, tendo influência direta apenas nas etapas Definir, Medir e Analisar. Entretanto, o caminho natural para a pesquisa é que continue evoluindo, podendo no futuro influenciar e incorporar as etapas de Melhorar e Controlar, através das demais técnicas de mineração.

Primeiramente foi feito uma interpretação de como poderia se estruturar os conceitos de mineração de processos (figura 4) para um ciclo DMAIC. Resultando na figura 7, onde foi divido as 5 etapas do ciclo DMAIC em 8 fases, que compreendeu-se ser essencial para o funcionamento do DMAIC.

Figura 7 – Mineração de processos aplicada no DMAIC.



FONTE: O autor (2020)

As fases que caracterizam que foram considerados essenciais foram:

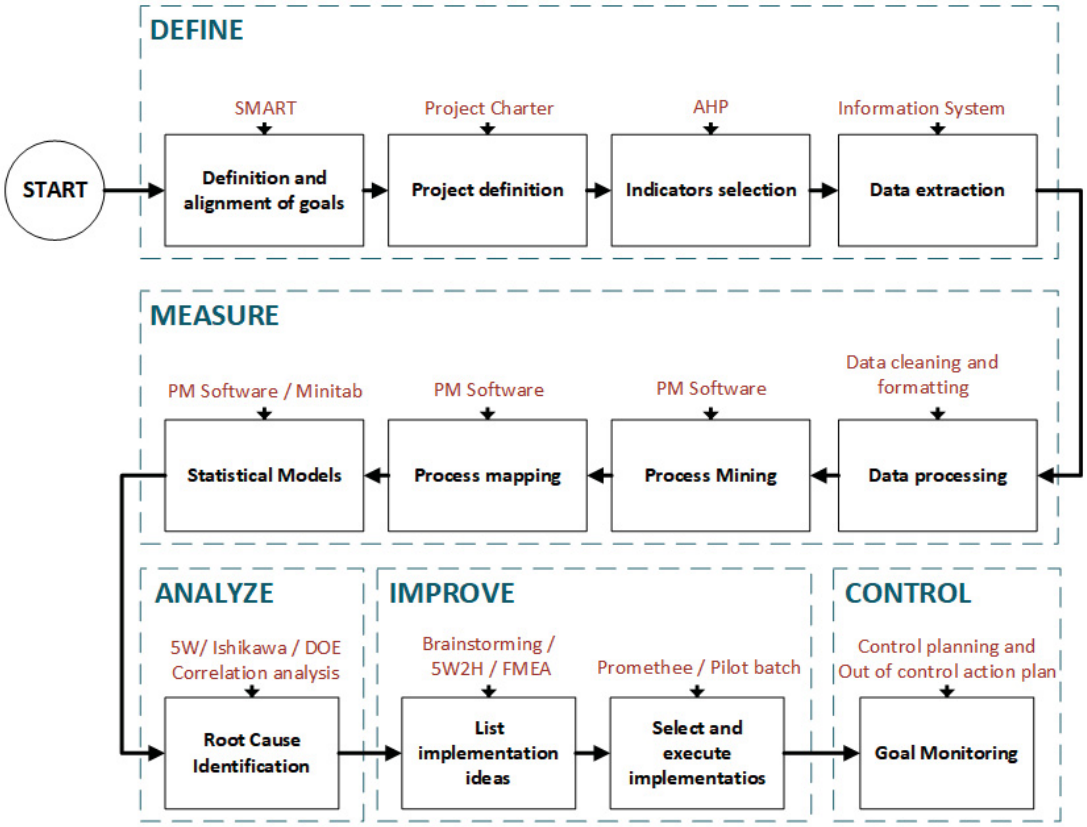
- **Fase 1** – Nesta etapa, os especialistas de negócio definem o problema que desejam que seja concentrado esforços, definindo o escopo e os objetivos do projeto. A partir dos objetivos por meio do método AHP é ranqueado as prioridades de indicadores para extração.
- **Fase 2** – Ocorre a extração de dados nesta etapa, onde os analistas de processo com base no problema definido, analisam quais sistemas de informação poderiam ser utilizados para adquirir os dados do processo, e fazem as extrações de dados necessários.
- **Fase 3** – Na etapa de processamento de dados, os dados são limpos e tratados, gerando registros de eventos que podem ser usados em um software de mineração.
- **Fase 4** – Esta é a etapa onde os logs são utilizados no software, gerando o mapeamento do processo e aplicando as devidas técnicas de mineração para obter as estatísticas dos eventos.
- **Fase 5** – As estatísticas geradas são utilizadas nesta etapa para a designação de modelos estáticos, que junto com os especialistas do negócio é avaliado se é possível atingir a meta inicial ou se é necessário fazer algum ajuste.
- **Fase 6** – Esta é a etapa onde se investiga a causa raiz do problema, apoiada por modelos estatísticos, buscando variações e possíveis gargalos, gerando um diagnóstico destas causas.
- **Fase 7** – Com base no diagnóstico, esta etapa explora as possíveis soluções para o problema, seguido por um plano de ação no qual possíveis melhorias são listadas, e priorizadas através do método Promethee, assim realizado as implementações apropriadas.
- **Fase 8** – É a etapa que encerra o ciclo, é responsável por garantir que os ganhos obtidos com o projeto sejam mantidos ao longo do tempo, criando um plano de monitoramento do processo após a conclusão do projeto.

4.1 FRAMEWORK DE APLICAÇÃO

Cada etapa do ciclo DMAIC tem suas peculiaridades e objetivos, de maneira que requerem abordagens e ferramentas distintas para atingir seus objetivos, conforme foi detalhado na tabela 1. O framework exposto na figura 8 traz a sugestão

de modelo a ser aplicado em um projeto que utilize o ciclo DMAIC Ágil, discernindo as ferramentas que devem ser utilizadas em cada fase que constitui uma etapa do projeto. Onde os retângulos tracejados em azul determinam a etapa do ciclo, os retângulos pretos as fases do projeto, e em vermelho acima de cada fase é indicado as ferramentas a serem utilizadas para tornar o ciclo mais ágil e robusto.

Figura 8 – Framework de atividades do Ciclo DMAIC Ágil.



FONTE: O autor (2021)

As ferramentas de qualidade que são utilizadas no framework de aplicação são as seguintes:

- **SMART:** É uma palavra que agrega cinco conceitos que devem ser considerados para determinar metas, o acrônimo tem como significado: especifico (specific); mensurável (measurable); atingível (achievable); relevante (relevant); tempo limite (time bound). Sendo assim é necessário determinar metas que sejam especificas e claras, de maneira que sejam mensuráveis e realistas para determinar se é possível alcança-las, é necessário que sejam metas relevantes o suficiente para que seja válido o

esforço para se planejar e executar um projeto, e por fim é preciso ter prazos bem delimitados.

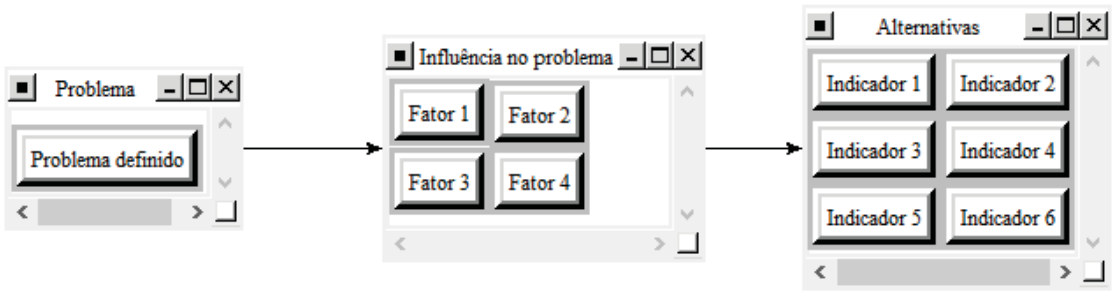
- **Project Charter:** É um documento que é elaborado pelo líder do projeto e validado pelo Sponsor (a pessoa que fornece os recursos necessários para que o projeto consiga ter aderência). Neste documento é definido o time que irá compor o projeto (com suas funções definidas), é apresentado as limitações restrições e entregas esperadas no fim do projeto, é exposto a necessidade para os esforços deste projeto e o porquê do mesmo ser necessário, é apresentado um cronograma macro do projeto, uma análise financeira, e principalmente é onde se esclarece os objetivos do projeto.
- **AHP:** É utilizado com o objetivo de auxiliar na definição dos indicadores, sendo utilizado para ranquear os indicadores que devem ser priorizados na extração de dados. Levando em conta os fatores que influenciam o problema para indicar quais seriam os melhores indicadores. Conforme é possível ver na figura 9.
- **Sistemas de informação:** É caraterizado por ser um sistema computacional, onde é registrado e guardado informações, através destes sistemas é possível extrair indicadores que norteiam a execução e investigação de problemas de um projeto.
- **Limpeza e formatação de dados:** Ao se extrair dados é bem possível que os mesmos não venham exatamente como se gostaria, seja por informações que venham a mais, por lacunas, ou até mesmo por ruídos (dados inconsistentes). Então é necessário que seja feita uma limpeza nestes dados para obter o mínimo possível de inconsistência, e o máximo de clareza, muitas vezes é necessário também a formatação destes dados, para que seja possível executar os dados em um software de mineração de processos.
- **Software de mineração de processos:** É onde de fato a mineração de processos ocorre, estes softwares são o que possibilitam um grande ganho de tempo no mapeamento e análise dos processos, fornecendo um mapa do processo (alguns deles animados) e filtros que possibilitam enxergar mais facilmente os possíveis desvios e gargalos de um processo.
- **Minitab:** Trata-se de um software estatístico, que auxilia na transformação de números em representações gráficas.

- **5 porquês:** Ferramenta que se baseia em questionar até 5 vezes o porquê de ocorrido uma falha ou defeito, tendo como objetivo encontrar a causa raiz daquilo que se busca solucionar.
- **Ishkawa:** Trata-se de um diagrama de causa e efeito, no qual compõe um problema em virtude de suas possíveis causas, sendo classificadas como causas primárias, secundárias e assim por diante.
- **DOE:** Vem da sigla em inglês que tem como significado planejamento de experimentos (Design of Experiments), e busca estudar a execução de um projeto, rastreando os fatores-chaves de um processo, qual é a combinação desses fatores que fazem com que o processo funcione de maneira aceitável, quais são os principais efeitos do processo, como eles interagem, e como lidar com a variabilidade deste processo.
- **Análise de correlação:** Tem como objetivo correlacionar duas variáveis, sendo muito útil para ver se duas variáveis possuem uma correlação positiva, negativa, ou se não possuem nenhuma correlação.
- **Brainstorm:** Consiste em reunir um grupo pessoas afim de sugerir ideias para um problema, tendo liberdade e não se preocupando no primeiro momento em como efetivamente executar essa ideia, sendo esse um passo seguinte da discussão em grupo.
- **5W2H:** Serve de suporte para a elaboração de um plano de ação, deve-se responder o que será feito, quem vai participar, onde vai ser executado, quando será executado, por quem será executado, como será executado, e por fim qual será o custo de executar este plano de ação.
- **FMEA:** Traz uma análise de modos de falhas e efeito, quando utilizado em um processo o FMEA é realizado levantando todas as possíveis falhas, além de todos os impactos que poderia ocasionar nas fases de planejamento e execução do processo
- **Promethee:** O Promethee é utilizado no Ciclo DMAIC Ágil com o objetivo avaliar as melhores alternativas de melhoria. Quando as causas raízes já foram identificadas, é necessário examinar as melhores melhorias para sana-las, depois lista-las, para então poder selecionar as melhorias a serem implementadas, e é nessa seleção que o Promethee atua, auxiliando na

escolha de quais melhorias devem priorizadas. A figura 10 traz um exemplo de utilização do Promethee para seleção de melhorias.

- **Lote piloto:** Antes de se executar uma implementação em todo o projeto é mais prudente fazer isso em uma escala menor, para isso é utilizado um lote piloto para o controle e verificar se os resultados são os esperados.
- **Plano de controle:** Consegue assegurar que os resultados obtidos em uma melhoria sejam constantes, sendo estabelecido alguns critérios de controle no qual deve ser feito um check-list para monitoramento.
- **Plano de ação fora de controle:** Quando o plano de controle não é respeitado é necessário ter algo que dê suporte, por isso há também um plano de ação para quando o processo está fora do controle esperado.

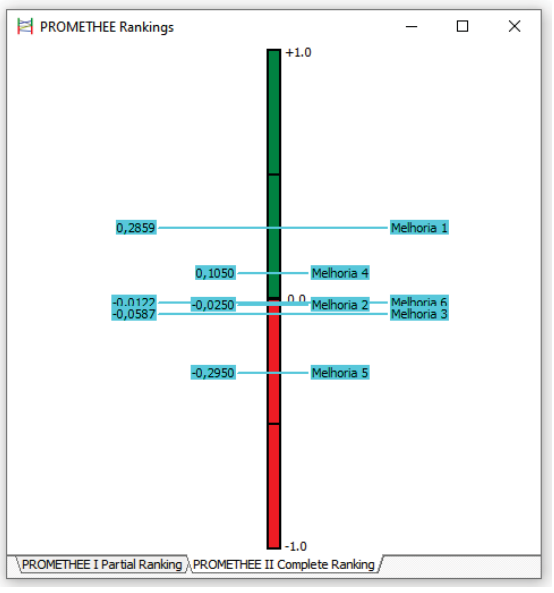
Figura 9 – Definição de indicadores para extração.



FONTE: O autor (2021)

Figura 10 – Utilização do Promethee para seleção de melhoria.

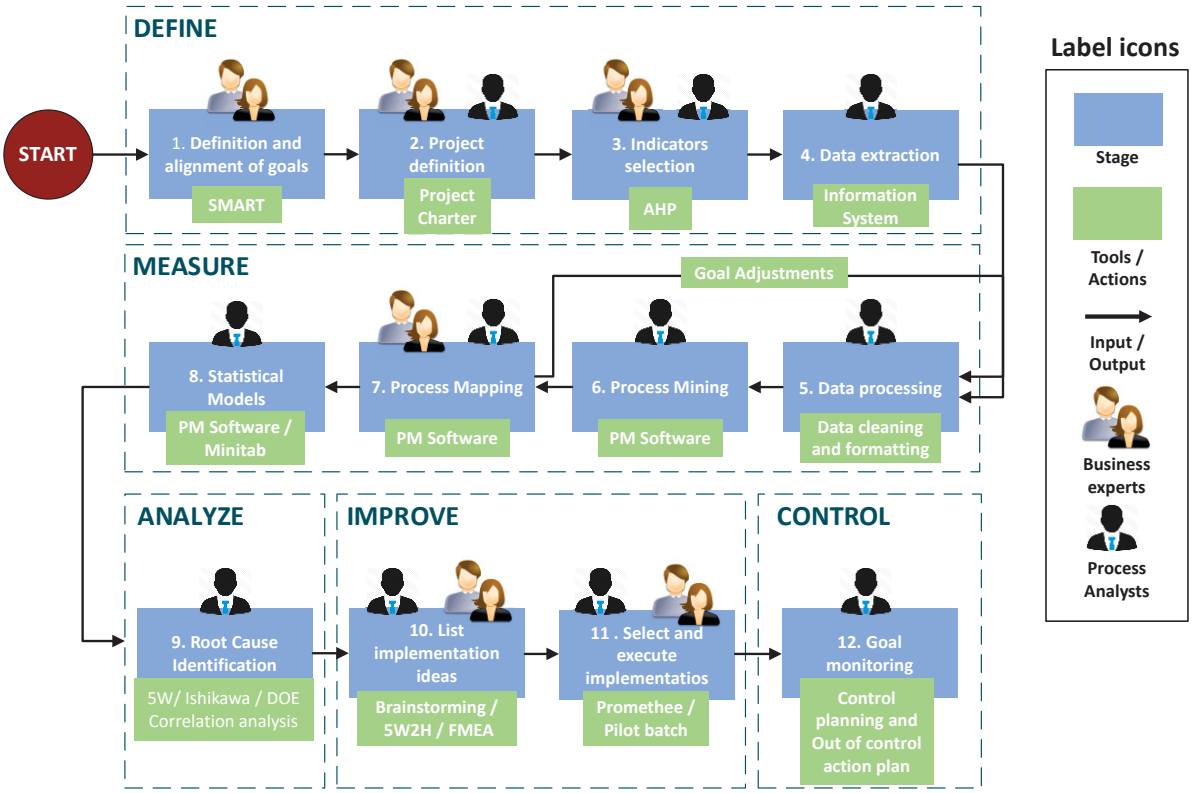
	Scenario1	Impacto	Custo Fin.	Duração	Complexidade
	Unit	5-pontos	R$	Dias	3-pontos
	Cluster/Group	◆	◆	◆	◆
	Preferences				
	Min/Max	max	min	min	min
	Weight	0,30	0,25	0,15	0,30
	Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear
	Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute
	- Q: Indifference	1	1000,00	7	1,00
	- P: Preference	5	30000,00	30	1,00
	- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a
	Statistics				
	Minimum	1	20000,00	45	1,00
	Maximum	5	25000000,00	380	3,00
	Average	3	4483333,33	166	2,00
	Standard Dev.	1	9181958,15	117	0,82
	Evaluations				
☑	Melhoria 1	Muito baixo	20000,00	45	Pouco
☑	Melhoria 2	Baixo	150000,00	160	Alto
☑	Melhoria 3	Moderado	1000000,00	68	Pouco
☑	Melhoria 4	Muito Alto	80000,00	380	Moderado
☑	Melhoria 5	Alto	25000000,00	250	Alto
☑	Melhoria 6	Moderado	650000,00	92	Moderado



FONTE: O autor (2021)

A partir dos conceitos necessários de mineração de processos aplicados no DMAIC junto ao framework de atividades sugeridas, foi estruturado a versão conhecida como Ciclo DMAIC Ágil, versão esta que está ilustrado na figura 11. Onde é possível ver cada uma das 12 fases, que são fases complementares da figura 7, acrescentando métodos multicritérios e fazendo uma melhor divisão das atividades. Cada etapa tem as ferramentas/ações indicadas, assim como quem são as pessoas envolvidas em cada etapa.

Figura 11 Ciclo DMAIC Ágil.



FONTE: O autor (2021)

5 APLICAÇÃO

Durante todo o processo de concepção e execução desta pesquisa houveram muitos contratempos quanto a sua aplicação, devido ao autor não trabalhar em nenhuma das empresas que disponibilizaram dados para análise (criando uma certa barreira quanto a implementações físicas), e complicações devido a pandemia de COVID-19 que impossibilitou muitas aplicações presenciais na linha de produção.

Desta forma, visando ter uma aplicação real da aplicação dos conceitos e não necessariamente da condução de projeto Six Sigma completo, está seção traz pontualmente exemplos de aplicação de dois logs no qual foram fornecidos para análise. Foram concedidos dois logs de eventos de processos bem distintos, para aplicação dos conceitos do Ciclo DMAIC Ágil, sendo um deles o log de eventos de uma estação de solda e grafagem automática de uma indústria automobilística. O outro log de eventos foi fornecido por uma operadora de planos de saúde com dados de pacientes que se trataram ou se estão se tratando do câncer de pulmão.

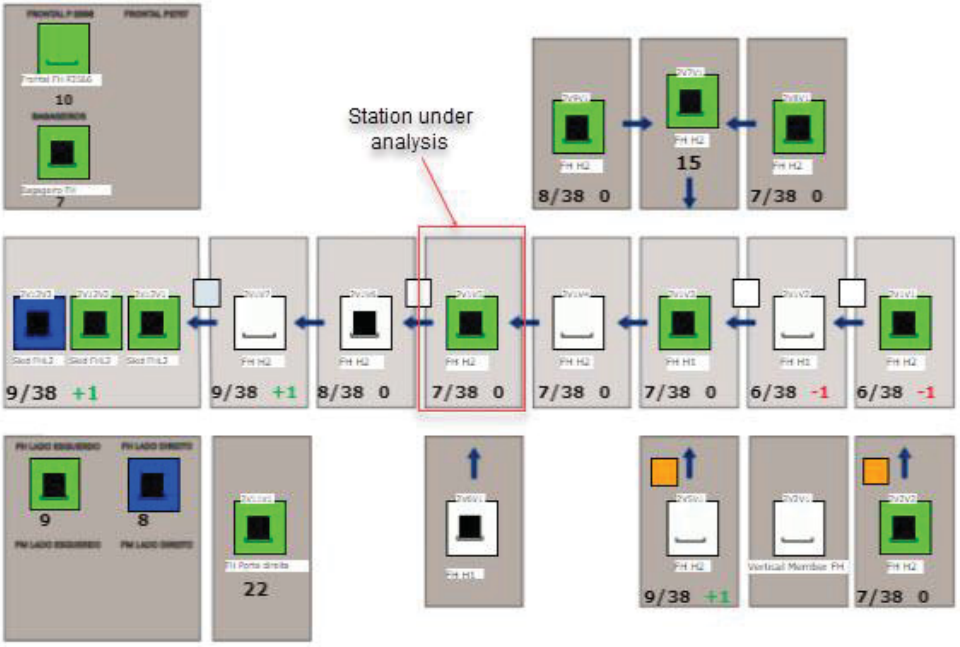
Esta seção irá conter aplicações das primeiras 8 fases do Ciclo DMAIC Ágil, que englobam o Define e Measure.

Para que a exposição destas fases não fique repetitivas, elas serão abordadas de maneira que oscilará entre as duas empresas que foram aplicados. Embora talvez possa causar um anticlímax a oscilação de problemas abordados, esta escolha foi optada também para poder mostrar a aplicação do método em dois ambientes bem distintos, e como dito anteriormente sem se manter repetitiva.

5.1 VISÃO GERAL DOS PROCESSOS

O processo na indústria automobilística tem como objeto de estudo uma estação automática dentro de uma linha principal do processo de soldagem Body-in-white (BIW), e sua principal tarefa é terminar os pontos de soldagem após a geometria da cabine. A estação é composta por dois robôs de médio porte e quatro pistolas de solda com docas para troca automática. A carga e descarga de peças são realizadas por um transportador automático, a intervenção humana ocorre apenas em paradas para troca de eletrodos pelos operadores, ou a correção de falhas pela equipe de manutenção. A localização da estação é mostrada de acordo com o layout da figura 12. Esta estação está inserida entre outras estações que juntas fazem parte de um processo maior, porém, somente esta estação será abordada nesta pesquisa.

Figura 12 – Layout do processo de soldagem



FONTE: O autor (2021)

Quanto ao log fornecido pela operadora de planos de saúde, os dados trazem informações sobre pacientes que foram diagnosticados com câncer de pulmão, contendo um histórico de modalidades de tratamentos e princípios ativos que foram utilizados no tratamento de cada paciente.

5.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E PROJETO (FASES 1 E 2)

Para exemplificar esta etapa, será exposto a definição do problema a ser abordado na indústria automobilística.

Na conversa inicial junto ao especialista no processo em estudo, foram discutidos os problemas que ocorrem na estação, e o que foi relatado como algo que gostariam de melhorar no processo seria diminuir ou sanar as inúmeras paradas que existem na produção. Assim foram listadas as seguintes paradas como mais frequentes:

1. Paradas por falhas;
2. Paradas por insaturação (falta de peça);
3. Paradas por saturação (um bloqueio).

Na evolução e compreensão do problema, foi definido que o problema abordado seria a redução destes defeitos.

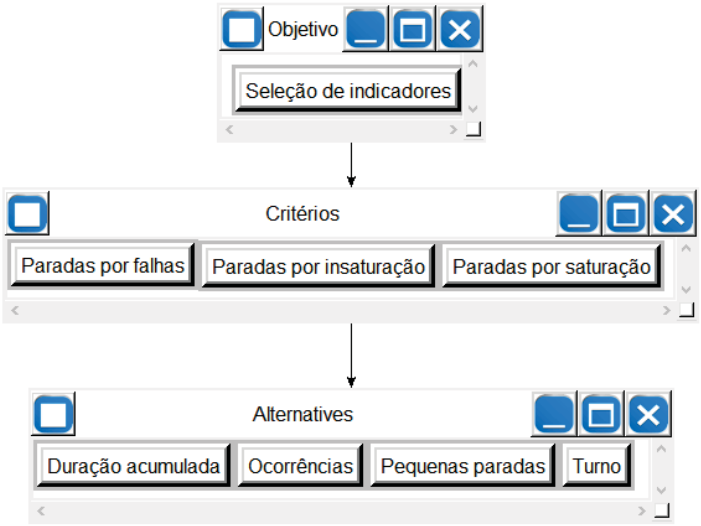
5.3 SELEÇÃO DE INDICADORES (FASE 3)

Dando continuidade aos problemas a serem abordados na indústria automobilística. Para o melhor entendimento do que mais afeta e tem mais peso nas interrupções do processo da estação, foi aplicado o método AHP. Buscando as alternativas que mais impactavam nas paradas, considerando os seguintes indicadores:

1. Duração acumulada;
2. Número de ocorrências;
3. Pequenas paradas (interrompendo a fluidez);
4. Turno em que ocorre (caso impacte quando a falha ocorre).

Desta maneira o modelo em AHP ficou estruturado conforme a figura 13.

Figura 13 – Utilização do AHP para ranqueamento.



FONTE: O autor (2021).

A estrutura da figura 13 foi aplicada a 4 avaliadores que trabalham diariamente no processo em estudo. Os 4 avaliadores consideraram que as paradas devido a falhas são as mais impactantes. As tabelas 5 a 8 mostram a classificação dos indicadores, obtida através das notas dadas pelos avaliadores.

Tabela 5 – Classificação de prioridade dos indicadores pelo avaliador 1.

Ranqueamento	Alternativas	Porcentagem
1	Duração acumulada	59,88%
2	Ocorrências	24,65%
3	Pequenas paradas	10,12%
4	Turno	5,35%

FONTE: O autor (2021).

Tabela 6 – Classificação de prioridade dos indicadores pelo avaliador 2.

Ranqueamento	Alternativas	Porcentagem
1	Duração acumulada	56,76%
2	Ocorrências	23,73%
3	Pequenas paradas	14,61%
4	Turno	4,9%

FONTE: O autor (2021).

Tabela 7 – Classificação de prioridade dos indicadores pelo avaliador 3.

Ranqueamento	Alternativas	Porcentagem
1	Ocorrências	43%
2	Duração acumulada	30,36%
3	Pequenas paradas	21,95%
4	Turno	4,69%

FONTE: O autor (2021).

Tabela 8 – Classificação de prioridade dos indicadores pelo avaliador 4.

Ranqueamento	Alternativas	Porcentagem
1	Duração acumulada	41,81%
2	Ocorrências	34,76%
3	Pequenas paradas	13,79%
4	Turno	9,64%

FONTE: O autor (2021).

Na análise do método AHP foi possível também mensurar a importância dada pelos especialistas aos tipos de paradas, a tabela 6 reflete este nível de importância.

Tabela 9 – Ranqueamento do peso dos tipos de parada.

Ranqueamento por peso	Alternativas	Porcentagem
1	Paradas por falhas	63,70%
2	Paradas por saturação	25,83%
3	Paradas por insaturação	10,47%

FONTE: O autor (2021)

Estes resultados foram apresentados ao especialista do processo, que confirmou que os resultados refletem o que se observa no dia-a-dia da linha de produção.

5.4 EXTRAÇÃO DOS DADOS (FASE 4)

Para exemplificar esta etapa, será apresentada a aquisição de dados do problema a ser abordado na operadora de planos de saúde, anteriormente havia sido estabelecido que o problema a ser abordado seria a redução de custo das modalidades de tratamento de câncer de pulmão.

A extração dos dados foi realizada por uma funcionária da operadora de planos de saúde. Esta extração consistiu na busca do histórico de 57 beneficiários diagnosticados com câncer de pulmão. No qual foi feita através do Data Warehouse da operadora, foram consideradas na busca datas entre 01 de janeiro de 2015 e 23 de fevereiro de 2021. Foi utilizada a linguagem Structured Query Language (SQL) no Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) Oracle, para se obter a listagem dos beneficiários.

5.5 PROCESSAMENTO DE DADOS (FASE 5)

Dando continuidade aos dados extraídos na fase anterior, os dados da operadora de planos de saúde serão utilizados como exemplo para esta etapa.

Uma vez obtido os dados, foi necessário realizar um pré-processamento destes dados, para serem utilizados no software de mineração de processos. Desta maneira a partir do tipo de medicamentos e princípios ativos utilizados no tratamento, foram criados agrupamentos, para determinar por qual modalidade de tratamento o beneficiário foi submetido. As modalidades de tratamentos analisadas são cirurgia pulmonar, quimioterapia, imunoterapia, radioterapia e terapia alvo.

Como não há uma informação formal no log de quando um paciente começou o tratamento do câncer de pulmão, foi necessário estabelecer o início, então foi estabelecido que o inicio do tratamento de cada beneficiário seria a partir de uma primeira consulta especializada com um médico com as seguintes especialidades: cirurgião oncológico, cirurgião torácico, médico oncologista, pneumologista e médico radiologista. Que são especialidades essenciais para o tratamento e diagnóstico do câncer de pulmão, segundo as diretrizes da Sociedade Brasileira de Oncologia (Baldotto et al., 2020; Ferreira et al., 2020; Gelati et al., 2020).

Na figura 14 é possível ver de maneira gráfica a determinação do inicio do tratamento, onde foi atribuído como modalidade de tratamento início, a primeira vez que um beneficiário se consultou em um médico com uma especialidade que geralmente são responsáveis pela identificação e tratamento do câncer de pulmão.

Figura 14 – Processamento de dados dos beneficiários.

USUARIO	NUMERO_GUIA	DATA_ATENDIMENTO	MODALIDADE DE TRATAMENTO	ESPECIALIDADE
9751000001	8587390	23/11/2015		CHECK UP
9751000001	8587391	24/11/2015		CHECK UP
9751000001	8587392	25/11/2015		CHECK UP
9751000001	8721721	02/12/2015		CHECK UP
9751000001	8721722	04/12/2015		CHECK UP
9751000001	8721723	07/12/2015		CHECK UP
9751000001	8721724	14/12/2015		CHECK UP
9751000001	8721725	16/12/2015		CHECK UP
9751000001	8721726	18/12/2015		CHECK UP
9751000001	8871176	06/01/2016		CHECK UP
9751000001	8871810	15/01/2016		CHECK UP
9751000001	8871811	18/01/2016		CHECK UP
9751000001	8871812	19/01/2016		CHECK UP
9751000001	8871813	20/01/2016		CHECK UP
9751000001	8871814	21/01/2016		CHECK UP
9751000001	8871815	22/01/2016		CHECK UP
9751000001	8871816	25/01/2016		CHECK UP
9751000001	8971426	22/02/2016		CHECK UP
9751000001	8971426	22/02/2016		CHECK UP
9751000001	9302544	19/04/2016	Inicio	RADIOLOGIA

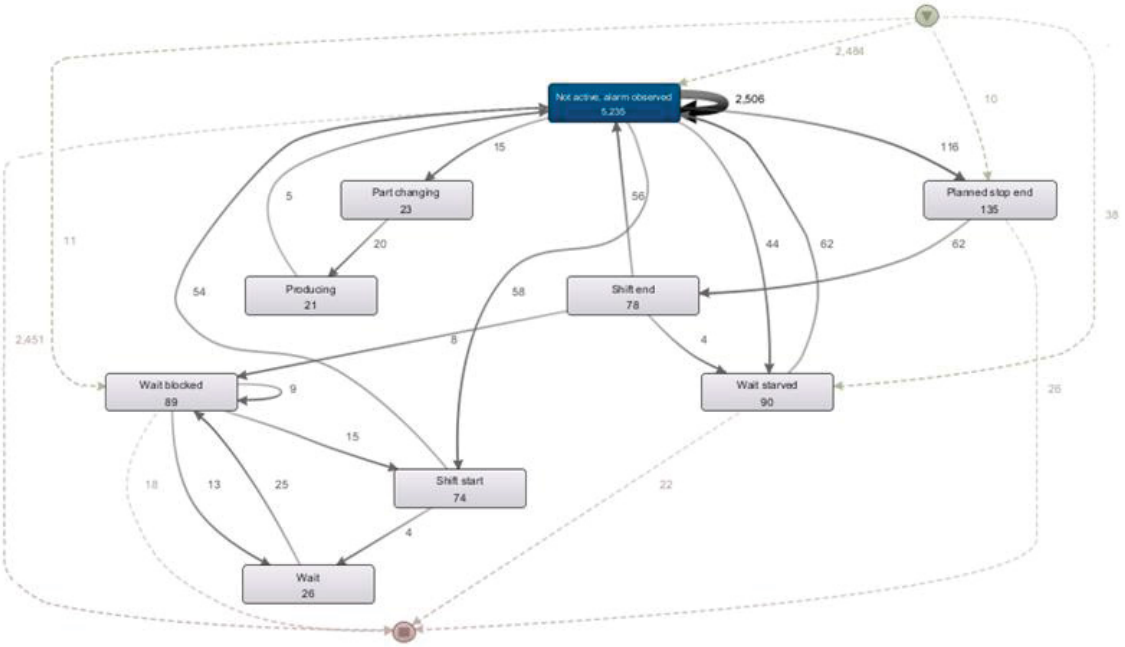
FONTE: O autor (2021).

5.6 MINERAÇÃO (FASES 6 E 7)

Para exemplificação desta fase voltamos aos dados fornecidos pela indústria automobilística.

Onde foi utilizado o software Disco para fazer o mapeamento do processo, no log de eventos há um tipo de estado denominado “erro” e o primeiro mapa de processo gerado foi a partir deste estado, considerando apenas os cases que apresentam o estado “erro”, ao observar o mapa de processo gerado pelo Disco notou-se que realmente a maioria dos estados de erro estavam concentrado na atividade “Not active, alarm observed”, a figura 15 ilustra o mapa de processo encontrado, porém em uma versão com 50% dos caminhos observáveis, para que o mapa pudesse ser exposto de maneira visível. Os eventos que apresentam estado de “erro” representam 46% dos cases de todo o processo da estação.

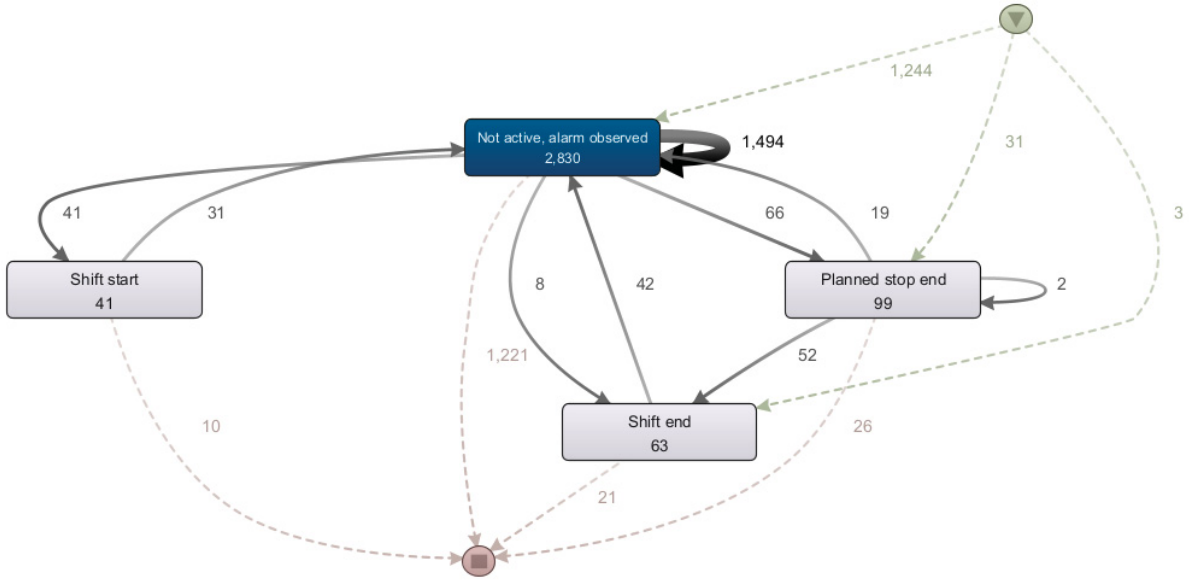
Figura 15 – Mapa de processo filtrado apenas para estados que possuem “erro”.



FONTE: O autor (2021).

Foi gerado também um mapa de processo considerando apenas os atributos do log que descrevem uma causa do problema com a palavra “falha”, que são a falha resolvida pelo operador, e a falha resolvida pela manutenção. A figura 16 traz o mapa de processo considerando apenas estados com as falhas descritas.

Figura 16 – Mapa de processo filtrado apenas para causa que possuem “falha”.



FONTE: O autor (2021).

5.7 MODELOS ESTÁTISTICOS (FASE 8)

Como a aplicação da metodologia só foi conduzida até este estágio em ambas empresas, esta seção terá modelos estatísticos de ambas para mostrar até em que cenário esta pesquisa chegou nas duas aplicações.

5.7.1 Modelos estatísticos gerados para operadora de planos de saúde

Nesta fase foram feitas algumas análises estatísticas com base nos dados que foram extraídos, com o objetivo de verificar a conformidade dos custos de cada modalidade de tratamento no câncer de pulmão.

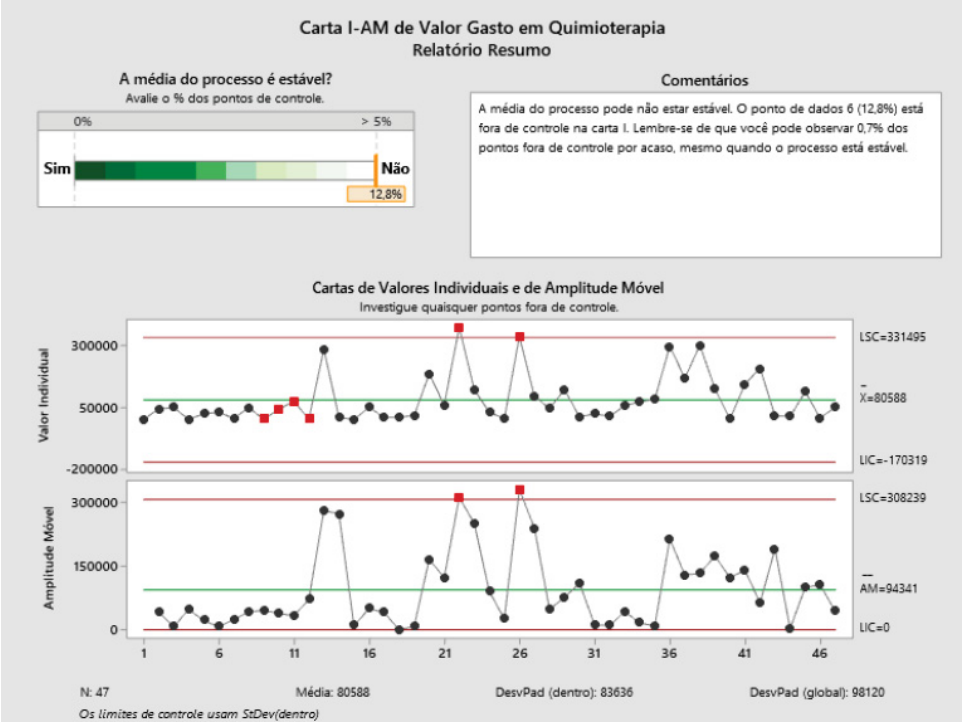
Existem diferentes modalidades de tratamento, em muitos casos elas são complementares, e é necessário mais de um tratamento no decorrer do combate ao câncer de pulmão. As modalidades de tratamento possuem abordagens e custos muito distintos. E o mérito da análise desta análise estatística está justamente nos custos, não cabendo analisar as escolhas que foram feitas pelos médicos durante um tratamento, mas sim se os custos dentro de cada tipo de tratamento estão conformes. Desta forma foram considerados apenas os gastos que cada beneficiário gerou quando estava em tratamento de cada modalidade de maneira individual.

Para analisar os gastos por modalidade foi optado por utilizar cartas de controle, afim de analisar a variação dos valores no processo, uma carta de controle possui três tipos de linhas, sendo a mais superior o limite superior de controle, a do meio é a linha média, e mais inferior sendo o limite inferior de controle. Sendo o ideal manter as variações dentro do espaço onde está a linha média, quando a variação ultrapassar algum dos limites algo está fora do padrão e é necessário uma investigação para ver o que houve. Os limites seriam o máximo e mínimo esperados no processo.

Existem cinco tipos de cartas de controle utilizadas na qualidade, e a escolhida para a análise foi a carta de controle I-AM, por ser mais precisa ao analisar os pontos de maneira individual, ou seja, o beneficiário nesta aplicação.

A quimioterapia se demonstrou um processo instável, apresentando pontos fora do limite de controle superior, possuindo também uma longa sequência de pontos abaixo da média, o mais comum em um processo é haver uma oscilação entre pontos abaixo e acima da média. A figura 17 traz a carta de controle de gastos em quimioterapia.

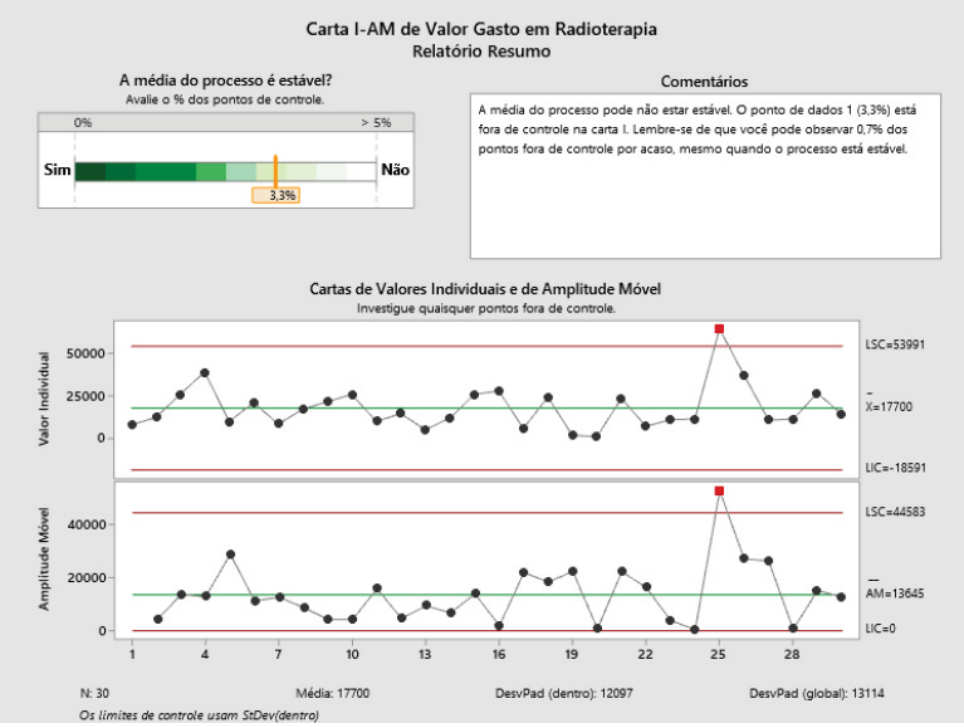
Figura 17 - Carta de controle de gastos em quimioterapia.



FONTE: O autor (2021).

A radioterapia se demonstrou um processo estável, apesar de apresentar um ponto fora do limite de controle superior, é tratado como um outlier não afetando a estabilidade do sistema, mas seria interessante analisar o caso de maneira individual para entender esta discrepância. A figura 18 traz a carta de controle de gastos em radioterapia.

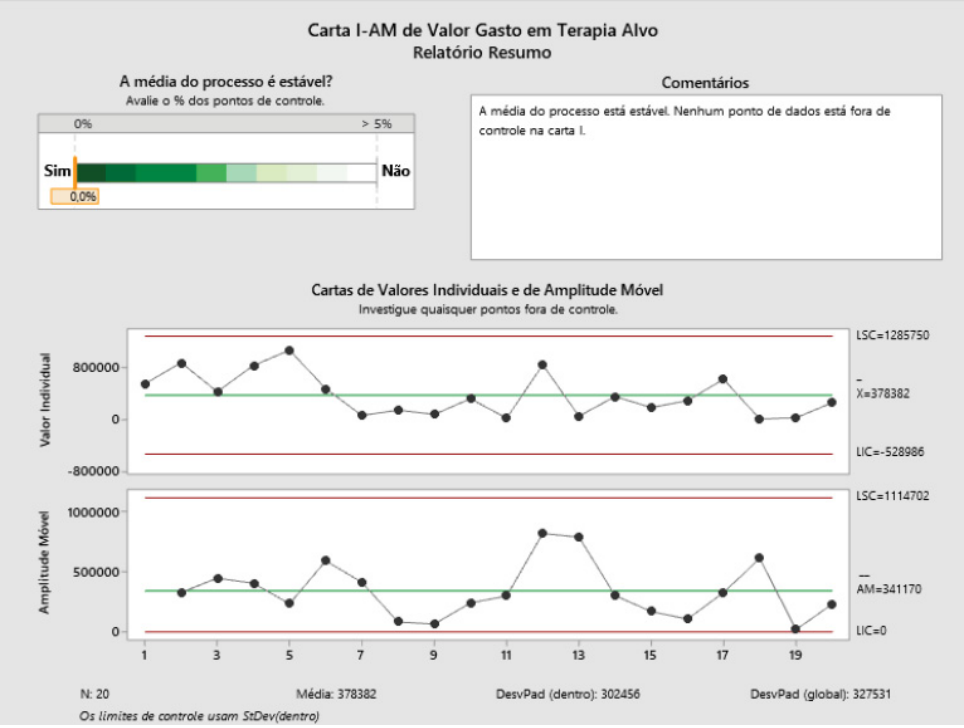
Figura 18 - Carta de controle de gastos em radioterapia.



FONTE: O autor (2021).

A terapia alvo se demonstrou um processo totalmente estável, não possuindo nenhum ponto acima ou abaixo dos limites de controle, nem mesmo possuindo estagnação dos pontos abaixo ou acima da média. A figura 19 traz a carta de controle de gastos em terapia alvo.

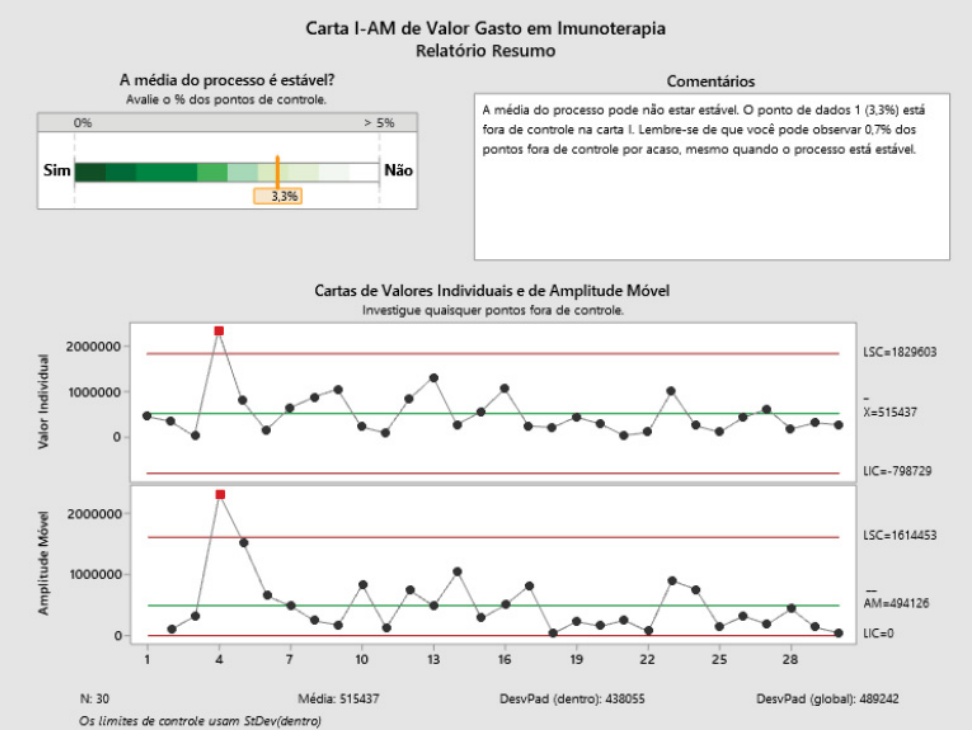
Figura 19 - Carta de controle de gastos em terapia alvo.



FONTE: O autor (2021).

Na imunoterapia é apresentado um sistema estável, embora ocorra um ponto acima do limite superior, não é algo que desestabilize o sistema. A figura 20 traz a carta de controle de gastos em imunoterapia.

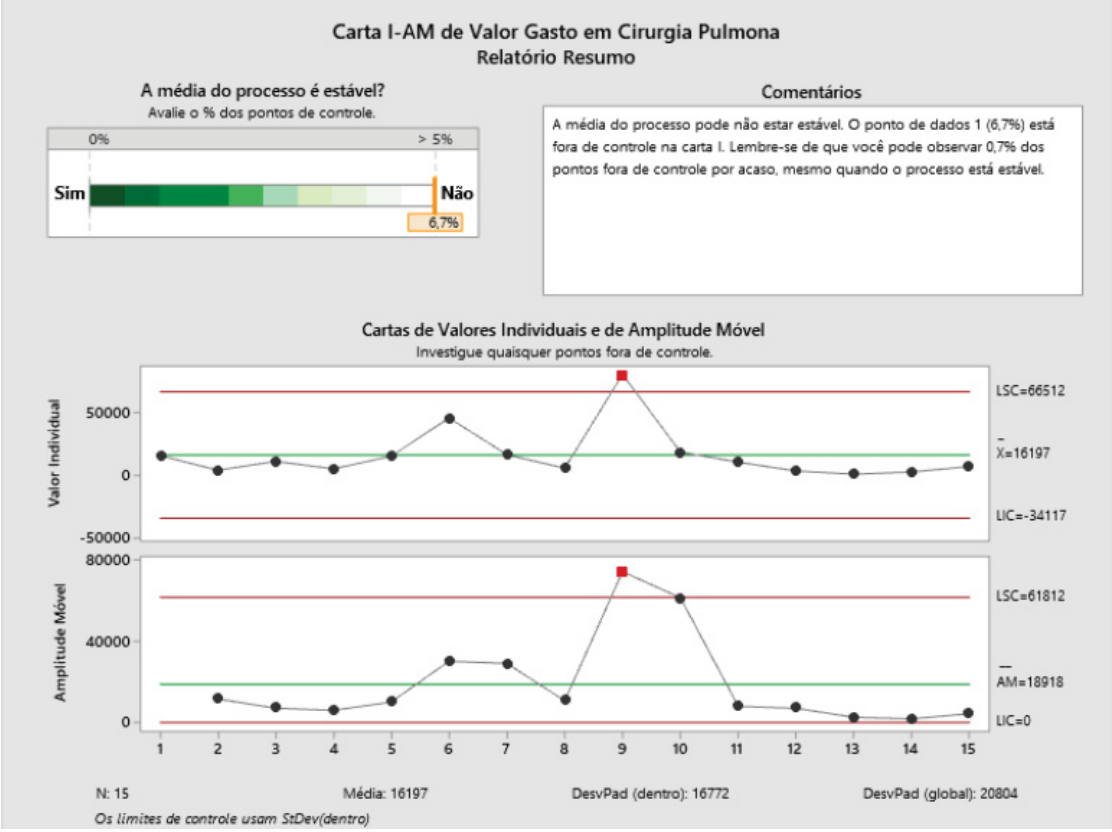
Figura 20 - Carta de controle de gastos em imunoterapia.



FONTE: O autor (2021).

Em cirurgia pulmonar ocorreu uma situação curiosa, o sistema está instável, por apresentar um ponto acima do limite superior, porém, foi apenas um ponto, e foi capaz de desestabilizar o sistema, mostrando que é muito baixo o número de beneficiários que passaram por este procedimento, assim comprometendo está análise. A figura 21 traz a carta de controle de gastos em cirurgia pulmonar.

Figura 21 - Carta de controle de gastos em cirurgia pulmonar.



FONTE: O autor (2021).

5.7.2 Modelos estatísticos gerados para indústria automobilística.

Através do software Disco (mesmo em que foi mapeado e minerado o processo) foi gerado uma planilha dados estatísticos como frequência e duração de cada atividade do processo, como pode ser visto na tabela 10.

Tabela 10 – Características das atividades.

Atividades	Frequência	Frequência relativa	Duração média (minutos)	Duração mediana (minutos)
Part changing	11539	22,97%	26,9	11,2
Producing	7362	14,65%	10,4	0
Wait blocked	6148	12,24%	8,9	0
Part in	5490	10,93%	0,11	0
Part out	5443	10,83%	7,9	0
Wait	5392	10,73%	7	0

Not active, alarm observed	5235	10,42%	28,5	0
Wait starved	2300	4,58%	23	0
Planned stop start	416	0,83%	222	0
Planned stop end	416	0,83%	222	0
Shift start	172	0,34%	19,4	0
Shift end	171	0,34%	16,9	0
Comlink Up	82	0,16%	270	13,3
Comlink Down	74	0,15%	162	9,5

FONTE: O autor (2022).

Da mesma forma que para as atividades, foram analisadas as estatísticas de frequência e duração das causas de falhas ou paradas inesperadas. Estes dados podem ser vistos na tabela 11.

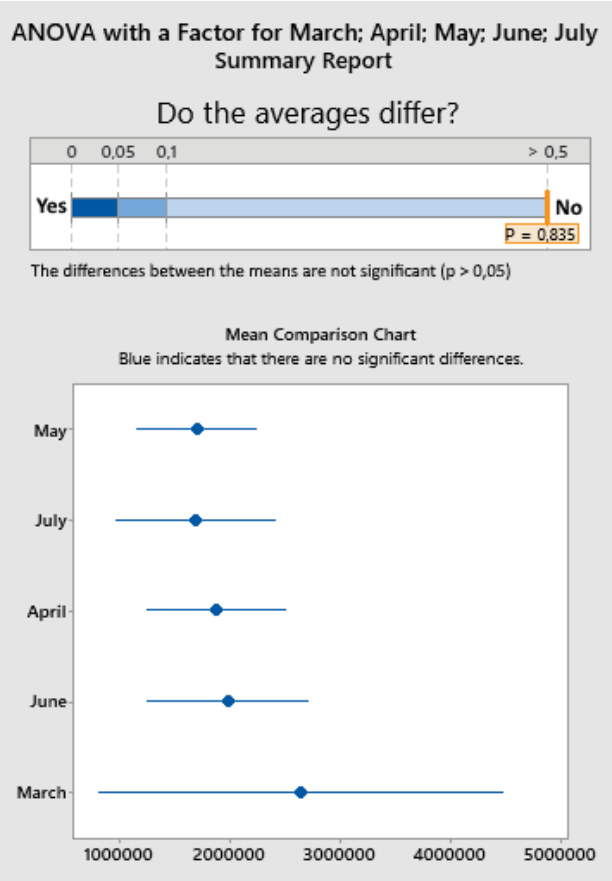
Tabela 11 – Características das causas.

Causas	Frequência	Frequência relativa	Duração média (minutos)	Duração mediana (minutos)
Waiting for Saturation/Blocking	6053	31,73%	504	0
Indefinite Waiting	5364	28,12%	420	0
Fault resolved by the operator	2736	14,34%	1278	0
Waiting for Unsaturation	2199	11,53%	1302	0
Equipment Downtime	1916	10,04%	1026	0
Planned tool change	667	3,50%	906	0
Fault resolved by maintenance	94	0,49%	306	1
Equipment error not coded	33	0,17%	5,1	0
Undefined code	8	0,04%	1,2	0
Unplanned tool change	3	0,02%	126	126
Waiting for Subassembly	2	0,01%	0	0

FONTE: O autor (2022).

A fim de comparar as variações das médias dos tempos de ciclo para cada mês, o software Minitab foi usado para realizar uma análise de teste de variância (ANOVA). Este teste mostrou que não houve diferença nas médias, a um nível de significância de 0,05. Como pode ser visto no relatório da figura 22

Figura 22 – Anova.



FONTE: O Autor (2022).

O que foi encontrado com o teste ANOVA, foi que alguns dos pontos de dados são atípicos quando comparados com outros da mesma amostra. Como dados atípicos podem ter uma forte influência nos resultados, deve-se tentar identificar a causa de sua natureza atípica (na fase de análise do Ciclo Agile DMAIC).

6 DISCUSSÃO, RESULTADOS E LIMITAÇÕES DA APLICAÇÃO

Nesta seção será abordada uma análise dos resultados das duas aplicações realizadas, assim como as discussões que elas geraram e suas limitações ao serem aplicadas.

6.1 INDUSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Na aplicação da indústria automobilística, o que se encontrou foi um cenário onde a planta analisada era razoavelmente nova, onde no período em que foi analisado teve-se acesso a registros de pouco mais de 3 meses de dados, porém, a planta estava em execução 24 horas por dia durante toda a semana, gerando assim um bom número de registros de eventos a ser analisado.

O que foi apontado logo nas primeiras conversas com o especialista no processo é que uma necessidade que eles tinham era a de entender a frequência e natureza das paradas que haviam constantemente na estação. Sendo assim fazendo a utilização do AHP para selecionar e direcionar os indicadores a serem utilizados na extração de dados.

A extração de dados foi feita por um funcionário da empresa, no qual retornou os indicadores requisitados, porém, a empresa não tinha algo que identificasse cada peça que foi feita, sendo assim necessário ser feito um pré-processamento destes dados antes de serem exportados para o software de mineração de processos, onde foram determinados cases ID, identificando quando uma peça entra na estação e quando encerra seu processo de solda.

Através da mineração de processos foi possível atender a expectativa inicial de identificar a frequência das paradas que ocorreram no processo nos 3 meses analisados.

Pela mineração foi possível entender melhor o processo em que as peças percorriam, e no próprio software de mineração foram levantadas estatísticas das atividades do processo, assim como das causas das falhas. Foi realizado uma análise de variância (ANOVA) para verificar há uma diferença de distribuição entre os meses analisados. E não houve diferença significativa quanto as médias. Sendo encontrado apenas dados atípicos que necessitariam de uma investigação dessa natureza atípica.

O próximo passo seria ter mais contato com o processo e visitar a planta para tentar encontrar algum elemento que não foi retratado nos dados fornecidos e avançar identificação das causas raiz da causa das paradas. Entretanto isso não foi possível,

devido a restrições que fábrica vinha enfrentando em virtude da pandemia de COVID-19, onde acesso foi restringido.

6.2 OPERADORA DE PLANOS DE SAÚDE

Na operadora de planos de saúde houve uma diferença inicial positiva, pois, a pessoa responsável por intermediar o contato com a empresa já havia trabalhado com mineração de processos, e tinham a intenção de continuar utilizando a metodologia, porém, focando desta vez em custos de tratamento, surgiu assim a possibilidade de realizar um projeto de Six Sigma visando a redução de custos para o tratamento de câncer de pulmão.

Após discutir bastante o assunto com o especialista do processo, foi considerado que o AHP neste processo em especifico não faria muito sentido de ser utilizado, pois, para eles era bem nítido que o tipo de custo que eles queriam avaliar era quanto aos princípios ativos utilizados no tratamento, e não em outros custos externos.

A extração dos logs de eventos foi feita por uma funcionária da empresa, através da Structured Query Language (SQL) no Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) Oracle. Embora o log de eventos não apresentasse o mesmo problema do log da empresa automobilística, porque neste log já havia os cases ID identificados, que eram os pacientes, mas havia o problema de não ser identificado quando o paciente iniciou o tratamento de pulmão, no log existiam todas as consultas e exames que pacientes já havia feito desde que iniciou o plano na operadora. Sendo assim foi determinado que o inicio do tratamento seria quando o paciente tivesse tido a primeira consulta com um dos especialistas que normalmente fornecem o diagnóstico de câncer de pulmão.

Através da mineração de processo foi possível entender e perceber diversos caminhos para o tratamento de câncer de pulmão, não só quanto modalidade de tratamento que podem ser utilizados, como a quimioterapia, radioterapia, terapia alvo, imunoterapia e cirurgia pulmonar, mas há também variações de tratamento dentro destas modalidades, que no final acabam sempre sendo sugestiva quanto a abordagem que o médico e paciente decidem seguir.

Pelas primeiras estatísticas fornecidas pelo software de mineração foi possível ver as disparidades de tratamentos, onde imunoterapia era imensamente mais cara que as outras modalidades, e cirurgia pulmonar a mais barata. Buscando

olhar para cada tratamento de maneira isolada sem compara-los foi feito uma análise visando verificar a conformidade dos custos dentro de cada modalidade, ou seja, ver os custos que cada paciente teve dentro de cada modalidade estão conformes. Para isso foram feitas cartas de controle I-AM. Sendo a quimioterapia a única modalidade claramente instável, enquanto outras possuem um possível outlier a ser investigado.

E foi justamente na investigação da causa raiz que este projeto acabou bloqueado, assim como na aplicação da indústria automobilística. Porém, por um motivo totalmente distinto, foi iniciado a análise da causa raiz, mas acabou empacando na subjetividade da condução médica e falta de dados sobre condições clinicas anteriores, pois, não era possível julgar as escolhas princípios ativos escolhidos por um médico, e mesmo que isso fosse feito de maneira direta e seca seguindo as diretrizes da Sociedade Brasileira de Oncologia, não daria para saber sobre condições clinicas anteriores do paciente, como de que maneira esse paciente reagiu ao princípio ativo ou acesso a exames que poderiam fazer o médico seguir outro caminho.

Dado toda essa subjetividade, não foi possível continuar nesta abordagem de custos, com os dados fornecidos no sistema da operadora de planos de saúde.

6.3 APRENDIZADOS E LIMITAÇÕES

Utilizando cenários tão diferentes para aplicar a metodologia, foi possível ver ganhos e limitações distintas, mas também a visualização de que possível se utilizar em processos totalmente distintos.

As limitações que apareceram nas aplicações foram justamente limitações das metodologias incorporadas no DMAIC Ágil. O que acabou criando a barreira para continuidade na indústria automobilística foi algo que é muito importante no Six Sigma, a mão na massa, ir para o chão de fábrica, vivenciar os problemas, ver como é o lugar onde processo ocorre e como as pessoas que ali trabalham o fazem. Enquanto na aplicação da operadora de plano de saúde dois pontos chaves em cada uma das metodologias não foram possíveis de ser executados, o Six Sigma é uma metodologia muito baseada em dados exatos e quando há um grau muito alto de subjetividade não há base estatística para o processo andar, com relação a mineração de processos, o problema foi quanto aos dados, ou a falta deles, e para se ter qualidade mineração de processos é imprescindível ter se os dados necessários, algo que faltou no sistema de informação da empresa.

7 CONCLUSÃO

Por não ter sido possível realizar a condução completa de um projeto de Six Sigma, devido aos percalços já apresentados. Abordar com análises pontuais os processos e fazer esta devolutiva de resultados para as empresas levou a resultados e discussões muito relevantes, e foi algo que ocasionou em uma grande troca de experiências nas empresas. Principalmente na empresa de operadora de planos de saúde, onde embora já tenha a abertura e utilização de mineração de processos por parte de alguns funcionários, o Six Sigma não é algo muito utilizado e que poderia trazer grande valor nas análises.

Utilizar as ferramentas do Six Sigma tem tido uma sinergia muito boa com as ferramentas de filtro do software de mineração de processos. Com base na minha experiência de analista de processos e Black Belt em Six Sigma, pude observar o ganho que o mapa de processo gerado pelo software de mineração traz, tornando a etapa de compreensão do processo extremamente ágil e fidedigna do que realmente acontece no chão de fábrica, conforme foi constatado pelos especialistas dos processos analisados.

Analisar custos através de cartas de controle foi muito interessante para ver de uma maneira bem clara quais beneficiários da operadora de planos de saúde que gastaram além do esperado, e ver as discrepâncias de pontos em que os gastos se distanciaram bastante da média. Quando se fala de custos o que se deseja sempre é uma redução, de forma que se houvesse pontos fora do limite inferior seria até interessante, para analisar porque tais pontos tiveram um custo inferior e tentar replicar nos outros pontos, mas o que houve nos casos em que ocorreram pontos fora dos limites de controle foi o contrário, todos os pontos que ultrapassaram um limite de controle, foi sempre o superior.

Conforme as lacunas mencionadas em estudos anteriores (Dogan and Gurcan, 2018; Geffen and Niks, 2013; Graafmans and Turetken, 2020; Kollenburg and Wouters, 2020; Tang et al., 2007), este trabalho, o Ciclo DMAIC Ágil, trouxe uma contribuição para uma nova abordagem prática dos projetos de Six Sigma, visando trazer indicadores mais precisos e um ciclo DMAIC mais acelerado.

Como proposto inicialmente neste trabalho, foi possível atingir o objetivo de conseguir formatar uma metodologia de aplicação do DMAIC utilizando mineração de processos e métodos de decisão multicritérios. Onde foi possível estruturar de

maneira mais clara a utilização de execução de um projeto de Six Sigma, e ainda por cima poder ser replicado em diferentes cenários, como representado nas duas aplicações deste trabalho.

A utilização do AHP quando aplicado trouxe mais nitidez quanto a que indicadores serem utilizados, como na aplicação da indústria automobilística, direcionando o olhar no que dar mais importância.

Indubitavelmente a utilização da mineração de processos poupa muito tempo em projeto de Six Sigma, fazendo com que uma etapa do projeto que poderia levar semanas ou meses, seja feita quase que instantaneamente, além do custo reduzido, por não ter que alocar mais recursos para esta etapa do processo.

Lamentavelmente não foi possível utilizar o Promethee em nenhuma das duas aplicações que foram feitas, porém, em simulações da ferramenta a mesma funcionou muito bem para auxiliar na escolha de melhorias, e tem uma maneira de atribuir pesos muito interessante, podendo se adequar com o que se pretende dar de importância para uma melhoria, embora não tenha sido utilizado nas aplicações, recomenda-se fortemente para quem no futuro pretenda utilizar o ciclo DMAIC Ágil, que não pule esta etapa na fase Improve.

Após o desenvolvimento deste trabalho e aplicações, o Ciclo DMAIC Ágil vem apresentando resultados encorajadores e satisfatórios, mostrou a capacidade de trazer uma nova perspectiva de melhoria do processo, e espera-se que continue sendo utilizado para explorar os dados de outras futuras empresas.

REFERÊNCIAS

Aalst, W.M.P. Process Mining: Data Science in Action. Springer, Berlin, Heidelberg, (2016).

Aalst, W.M.P., Adriansyah A, De Medeiros AKA, et al. Process mining manifesto. In: BPM 2011 workshops, LNBIP 99. Springer, Heidelberg, 169–194 (2012).

Aalst, W.M.P., Dustdar, S. Process Mining Put into Context. IEEE Internet Computing, 16(1), 82–86 (2012).

BAKAR, N. A. A.; HARIHODIN, S.; KAMA, N. A priority based enterprise architecture implementation assessment model: An analytic hierarchy process (ahp) approach. Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC), v. 9, n. 2-3, p. 121–125, 2017.

BALDOTTO, C. et al. Diretrizes de tratamentos oncológicos Pulmão pequenas células. Sociedade Brasileira de Oncologia Clínica, p. 16, 2020.

Brans J.P., L'ingeniérie de la decision; Elaboration ` d'instruments d'aide a la d ` ecision. La m ´ ethode PROMETHEE, ´ in: R. Nadeau, M. Landry, ed., L'aide `a la de´cision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir, Que´bec, Canada.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H. A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM. Mgmt. Sci., v. 31, p. 647-656, 1985.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank project: The PROMETHEE method. European J. Oper. Res., v. 24, p. 228-238, 1986.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints. INFOR, v. 30, n. 2, p. 85-86, 1992.

Choueiri, A.C. , Sato, D.M.V. , Scalabrin, E.E. , Santos, E.A.P. An extended model for remaining time prediction in manufacturing systems using process mining. Journal of Manufacturing Systems, 2020, 56, pp. 188-201.

Dogan O, Gurcan OF. Data perspective of lean six sigma in industry 4.0 era: a guide to improve quality. Proc Int Conf Ind Eng Oper Manag 2018, 943–953 (2018).

Douglas C. Montgomery and William H. Woodall (2008). An Overview of Six Sigma. International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique, 76(3), 329–346. doi:10.2307/27919650

Dožić, S.; Kalić, M. An ahp approach to aircraft selection process. Transportation Research Procedia, Elsevier, v. 3, p. 165–174, 2014.

Eck ML, Lu X, Leemans SJJ, van der Aalst WMP. PM2: a process mining project methodology. In: Advanced information systems engineering (CAiSE 2015). LNCS 9097, 297–313 (2015).

Evans JR, Lindsay WM. Managing for quality and performance excellence, 10th edn. South-Western, Cengage Learning, Mason (2016).

FERREIRA, C. G. M. et al. Diretrizes de tratamentos oncológicos Pulmão não pequenas células: doença avançada. Sociedade Brasileira de Oncologia Clínica, p.17, 2020.

Fluxicon Homepage, https://fluxicon.com/book/read/dataext/ 2020/08/01.

Geffen F, Niks R. Accelerate DMAIC using process mining. In: Proceedings of 3rd BPI challenge BPIC'13, CEUR workshop proceedings (CEUR-WS.org) (2013).

GELATI, A. et al. Diretrizes de tratamentos oncológicos Pulmão não-pequenas células: doença localizada e localmente avançada. Sociedade Brasileira de Oncologia Clínica, p. 16, 2020.

Graafmans, T., Turetken, O., Poppelaars, H. *et al.* Process Mining for Six Sigma. *Bus Inf Syst Eng* (2020).

HAJKOWICZ, S.; HIGGINS, A. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. European journal of operational research, Elsevier, v. 184, n. 1, p.255–265, 2008.

Liao H.C., Z.S. Xu, Multi-criteria decision making with intuitionistic fuzzy PROMETHEE, Int. J. Fuzzy Syst., 27 (2014) 1703-1717.

Kollenburg T, Wouters S. The future of continuous improvement. In: European lean educators conference 2018, Braga (2018).

Pyzdek T. The six sigma handbooks. McGraw-Hill, New York (2003).

Ruschel, E., Santos, E.A.P., Loures, E.F.R. Establishment of maintenance inspection intervals: an application of process mining techniques in manufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing, 2020, 31(1), pp. 53-72.

Saaty T.L., The Analytic Hierarchy Process, McGrawHill, 1980

Saaty, T. L. (1991). Método de análise hierárquica. São Paulo: Makron Books.

SAATY, T. L. (2005). Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks. Pittsburgh: RWS Publications.

Snee, R.D. (2010), "Lean Six Sigma – getting better all the time", International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 1 No. 1, pp. 9-29.

TALEB, M. F. A.; MARESCHAL, B. Water resources planning in the middle east: application of the PROMETHEE V multicriteria method. European Journal of Operational Research, v. 81, p. 500-511, 1995

Tang, L. C., Goh, T. N., Lam, S. W., & Zhang, C. W. Fortification of Six Sigma: expanding the DMAIC toolset. Quality and Reliability Engineering International, 23(1), 3–18. (2007).

Treichler, D.H., The Six Sigma path to leadership. New Delhi: Pearson Education (2005).

Vargas, L. G. (1990). An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications. European Journal of Operational Research, 48(1), 2-8. http:// dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H.

Vargas, R., “Utilizando a Programação Multicritério (AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio”, PMI GLOBAL CONGRESS 2010 – NORTH AMERICA, 2010.

VINCKE, P. Multicriteria decision-aid. Londres: John Wiley & Sons, 1992.

Voehl F., Harrington H. James, Mignosa C, Charron R. The Lean Six Sigma Black Belt Handbook: Tools and Methods for Process Acceleration. Taylor & Francis Group, LLC (2014).